



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH MEDAN ELEKTROMAGNETIK TERHADAP  
PRESIPITASI  $\text{CaCO}_3$  DAN KESADAHAN AIR PADA SISTEM  
FLUIDA DINAMIK  
STUDI KASUS: KONSENTRASI, LAMA SIRKULASI, LAJU  
ALIR**

**SKRIPSI**

**MARTINGTYAS YUNITASARI  
04 05 06 04 23**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JUNI 2009**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH MEDAN ELEKTROMAGNETIK TERHADAP  
PRESIPITASI  $\text{CaCO}_3$  DAN KESADAHAN AIR PADA SISTEM  
FLUIDA DINAMIK  
STUDI KASUS: KONSENTRASI, LAMA SIRKULASI, LAJU  
ALIR**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana**

**MARTININGTYAS YUNITASARI  
04 05 06 04 23**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
KEKHUSUSAN TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JUNI 2009**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Martiningtyas Yunitasari**

**NPM : 0405060423**

**Tanda Tangan :**



**Tanggal : 26 Juni 2009**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Martiningtyas Yunitasari  
NPM : 0405060423  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul Skripsi : Pengaruh Medan Elektromagnetik Terhadap  
Presipitasi  $\text{CaCO}_3$  Dan Kesadahan Air Pada  
Sistem Fluida Dinamik  
Studi Kasus: Konsentrasi, Lama Sirkulasi, Laju  
Alir

**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**

Pembimbing : Dr. Ir. Nelson Saksono, MT

Penguji : Ir. Sutrasno Kartohardjono, M.Sc, Ph.D

Penguji : Ir. Yuliusman, MT

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 2 Juli 2009



## KATA PENGANTAR

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

1. Bapak Dr. Ir. Nelson Saksono, MT selaku Pembimbing Skripsi atas bimbingan dan ilmu yang bermanfaat bagi penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA selaku Ketua Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
3. Ir. Sutrasno Kartohardjono, M.Sc, Ph.D selaku Pembimbing Akademik dan seluruh pengajar Teknik Kimia FTUI.
4. Mas Eko, Mang Ijal, Kang Jajat, Mas Heri dan Mas Opik. Kemudian Mas Baim yang telah membantu dalam pengujian sampel penelitian penulis.
5. Keluarga yaitu Bapak, Ibu dan Mas Agung yang selalu memberikan dukungan materi dan moril, berupa kasih sayang, perhatian maupun doa.
6. Andri Krestianto yang selalu setia mendampingiku disaat sulit maupun senang dan selalu memberiku semangat.
7. Sahabat-sahabatku Ayu, Adel, Lila, Yenda, Sera dan Isna yang selalu memberi dukungan, menemani dan menceriakan hari-hariku di kampus.
8. Rekan penelitian Penulis Angga S. Wijaya yang telah membantu kelancaran penelitian dan menjadi teman dalam berdiskusi.
9. Semua pihak yang belum disebutkan yang telah membantu penulis.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 26 Juni 2009

Martiningtyas Yunitasari

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

---

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

Nama : Martiningtyas Yunitasari  
NPM : 0405060423  
Program Studi : Teknik Kimia  
Departemen : Teknik Kimia  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

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

Pengaruh Medan Elektromagnetik Terhadap Presipitasi  $\text{CaCO}_3$  dan Kesadahan Air pada Sistem Fluida Dinamik Studi Kasus: Konsentrasi, Lama Sirkulasi, Laju Alir

berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan 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 : 26 Juni 2009

Yang menyatakan



(Martiningtyas Yunitasari)

## ABSTRAK

Nama : Martiningtyas Yunitasari  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul : Pengaruh Medan Elektromagnetik Terhadap Presipitasi  $\text{CaCO}_3$  dan Kesadahan Air Pada Sistem Fluida Dinamik Studi Kasus Konsentrasi, Lama Sirkulasi dan Laju Alir

Penelitian ini membahas perilaku presipitasi  $\text{CaCO}_3$  dalam air sadah dibawah pengaruh medan elektromagnetik beserta aplikasinya dalam pengolahan air sadah dan pencegahan kerak. Hasil penelitian membuktikan bahwa medan elektromagnetik mempengaruhi interaksi hidrat ion dan interaksi ion serta presipitasi  $\text{CaCO}_3$  pada pola aliran fluida dinamik. Elektromagnetisasi larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  dapat meningkatkan presipitasi  $\text{CaCO}_3$  dengan sifat deposit yang lebih mudah lepas dari dinding. Peningkatan presipitasi secara signifikan terjadi pada konsentrasi, lama sirkulasi dan laju alir tertentu. Hasil tersebut dapat menjadi alasan bagi pengembangan sistem pengolahan air sadah dengan proses elektromagnetisasi yang efektif dalam menurunkan kesadahan dan pencegahan kerak pada air sadah.

Kata Kunci:  
medan elektromagnetik, presipitasi  $\text{CaCO}_3$ , pencegahan kerak.

## ABSTRACT

Name : Martiningtyas Yunitasari  
Study Program : Chemical Engineering  
Title : The Effect of Electromagnetic-Field Toward CaCO<sub>3</sub>  
Precipitation and Water Hardness In Dynamic Fluid  
System  
Case Study: Concentration, Circulating Time, Flow Rate

The purpose of this study is to investigate CaCO<sub>3</sub> precipitation in hard water with electromagnetic-field effects and its application in hardwater treatment and scale prevention. The observation results showed that electromagnetic-field influence hydrate interaction, ionic interaction and CaCO<sub>3</sub> precipitation in dynamic fluid. Electromagnetic treatment on NaHCO<sub>3</sub> and CaCl<sub>2</sub> solutions can increase CaCO<sub>3</sub> precipitation being kind of deposits that easily removed from the wall. The precipitation's improvement found in certain concentration, circulating time and flow rate. This result can be the reason to develop hard water treatment with electromagnetic field that can be effective to decrease water hardness and prevent scale.

**Key Word:**

Electromagnetic-field, CaCO<sub>3</sub> precipitation, scale-prevention



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	v
ABSTRAK .....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
<b>1. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
2.1 Air sadah.....	6
2.2 Mekanisme pembentukan partikel $\text{CaCO}_3$ tanpa medan elektromagnetik.....	8
2.2.1 Reaksi Kesetimbangan dan Aspek Termodinamik Pembentukan $\text{CaCO}_3$ .....	8
2.2.2 Presipitasi $\text{CaCO}_3$ di permukaan dan di larutan .....	11
2.2.3 Pengaruh hidrodinamika fluida terhadap proses pembentukan $\text{CaCO}_3$ .....	13
2.3 Metode Pengolahan Air dengan Magnet Statik.....	14
2.4 Metode Pengolahan Air dengan Medan Elektromagnetik.....	16
2.4.1 Sifat Magnetik Kumputan Berarus Listrik Solenoida .....	16
2.4.2 Pengaruh Medan Elektromagnetik Terhadap Presipitasi $\text{CaCO}_3$ .....	18
2.4.3 Desain Proses Pengolahan Air dengan Medan Elektromagnetik .....	22
2.4.4 Sistem Fluida Dinamik .....	23
2.5 Variabel kondisi operasi yang mempengaruhi efektivitas elektromagnetik .....	23
2.5.1 Pengaruh Konsentrasi .....	23
2.5.2 Pengaruh Lama Sirkulasi.....	24
2.5.3 Pengaruh Lama Laju Alir .....	25
<b>3. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>27</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	27
3.2 Preparasi Alat dan Bahan .....	29
3.2.1 Alat – alat yang digunakan .....	29
3.2.2 Instrumen Analisis.....	32
3.2.3 Bahan – Bahan yang digunakan .....	32
3.3 Prosedur Penelitian .....	32
3.3.1 Prosedur Pembuatan Larutan Natrium Bikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ) 0,01 M.....	33
3.3.2 Prosedur Pembuatan Larutan Natrium Bikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ) .....	

0,015 M.....	33
3.3.3 Prosedur Pembuatan Larutan Natrium Bikarbonat (NaHCO <sub>3</sub> ) 0,02 M.....	33
3.3.4 Pembuatan Larutan Kalsium Klorida (CaCl <sub>2</sub> ) 0,01 M .....	33
3.3.5 Pembuatan Larutan Kalsium Klorida (CaCl <sub>2</sub> ) 0,015 M .....	34
3.3.6 Pembuatan Larutan Kalsium Klorida (CaCl <sub>2</sub> ) 0,02 M .....	34
3.3.7 Pembuatan Larutan EDTA 0,01 M.....	34
3.3.8 Pembuatan Larutan HCl 0,1 M.....	34
3.3.9 Pembuatan Larutan Buffer pH 10.....	35
3.3.10 Pembuatan Larutan Indikator Erio Black-T (EBT) 0,5% .....	35
3.3.11 Pembuatan Larutan Standar CaCO <sub>3</sub> 0,01 M.....	35
3.3.12 Prosedur Penentuan Laju Alir .....	34
3.3.12 Prosedur Pencucian Alat Elektromagnetik sistem dinamis .....	36
3.3.13 Prosedur uji pengaruh medan elektromagnetik pada saat sirkulasi.....	36
3.4 Prosedur Pengujian dengan Variasi Variabel Kondisi Operasi: Konsentrasi, Laju Alir dan Lama Sirkulasi .....	36
3.4.1 Variasi Konsentrasi .....	37
3.4.2 Variasi Laju Alir .....	37
3.4.3 Variasi Lama Sirkulasi .....	38
3.5 Prosedur Analisis.....	39
3.5.1 Analisis Presipitasi CaCO <sub>3</sub> Dengan Titrisasi Kompleksometri EDTA .....	39
3.5.1.1 Standarisasi larutan EDTA 0.1 M .....	39
3.5.1.2 Analisis Sampel Larutan .....	39
3.5.2 Pengukuran pH larutan .....	38
3.5.3 Uji Foto Mikroskopik Dengan SEM .....	40
3.5.3.1 Prosedur uji Kristal CaCO <sub>3</sub> dengan SEM .....	40
3.5.3.2 Uji SEM .....	41
<b>4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>43</b>
4.1 Pengaruh Sirkulasi dan Elektromagnetisasi Sirkulasi Terhadap Presipitasi CaCO <sub>3</sub> .....	43
4.2 Pengaruh Variabel Kondisi Operas Terhadap Presipitasi CaCO <sub>3</sub> .....	45
4.2.1 Variasi Konsentrasi .....	46
4.2.2 Variasi Lama Sirkulasi .....	51
4.2.3 Variasi Laju Alir.....	54
4.3 Morfologi, Ukuran dan Populasi Partikel CaCO <sub>3</sub> dari Hasil Uji SEM	57
4.3.1 Analisa SEM Ditinjau dari Segi Perbandingan antara Sampel Elektromagnetisasi dan Sampel Non-Elektromagnetisasi .....	57
4.3.2 Analisa SEM Ditinjau dari Segi Pengaruh Variabel Kondisi Operasi.....	60
4.3.2.1 Variasi Konsentrasi .....	60
4.3.2.2 Variasi Lama Sirkulasi .....	61
4.3.2.3 Variasi Laju Alir.....	63
<b>5. KESIMPULAN.....</b>	<b>65</b>
<b>DAFTAR REFERENSI .....</b>	<b>66</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tabel Tingkat Kesadahan Air .....	6
Tabel 2.2	Nilai Supersaturasi ( $\delta_s$ ) pada Beberapa Tingkat Kesadahan dan pH pada Suhu 25 <sup>0</sup> C .....	9
Tabel 2.3	Data Termodinamik Reaksi Pembentukan CaCO <sub>3</sub> .....	11
Tabel 3.1	Spesifikasi Alat Medan Elektromagnetik .....	31



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Endapan Kerak pada Pipa .....	7
Gambar 2.2	Efek Perubahan pH Terhadap Fraksi $\text{CO}_2$ , $\text{HCO}_3^-$ , $\text{CO}_3^{2-}$ dalam Kelarutan .....	10
Gambar 2.3	Analisis SEM dari Deposit $\text{CaCO}_3$ pada Permukaan Logam Emas pada Kondisi Larutan 120 ppm $\text{Ca}^{2+}$ , $25^\circ\text{C}$ dan Laju Alir 300 ml/min untuk (a) Deposit 7 menit: Kristal Veterit; (b) Deposit 25 menit: Veteri dan Kalsit .....	13
Gambar 2.4	Orientasi Air Terhadap Ion $\text{Ca}^{2+}$ dan $\text{CO}_3^{2-}$ pada Air Sadah	14
Gambar 2.5	Arah Arus Listrik dan Garis-Garis Gaya Magnetik pada Kumparan Solenoida.....	17
Gambar 2.6	Skema Alat Medan Elektromagnetik dengan Generator Frekuensi .....	18
Gambar 2.7	Skema Pengontrolan Presipitasi $\text{CaCO}_3$ Melalui Proses Elektomagnetik (Cho et al. 1997) .....	19
Gambar 2.8	Profil Energi Bebas Gibbs pada Tiga Rasio Supersaturasi yang Berbeda .....	21
Gambar 2.9	Bagan Sistem <i>Magnetic Water Treatment</i> .....	22
Gambar 2.10	Kurva Persen Presipitasi $\text{CaCO}_3$ pada Berbagai Lama Sirkulasi dengan Waktu Presipitasi 180 Menit pada Laju Alir 0,93 l/menit dengan Magnetisasi dan Non Magnetisasi.....	24
Gambar 2.11	Kurva Pengaruh Laju Alir dan pH terhadap Rasio Presentase Presipitasi $\text{CaCO}_3$ Total untuk Waktu Presipitasi 90 Menit Dan Konsentrasi $\text{Ca}^{2+}$ Mula-mula 200 ppm.....	26
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian .....	27
Gambar 3.2	Pipa Tembaga dengan 120 Lilitan Solenoida .....	30
Gambar 3.3	Skema Alat Pengolahan Air dengan Medan Elektromagnetik	30
Gambar 3.4	Alat Titrasi Kompleksimetri EDTA.....	31
Gambar 3.5	Alat <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) .....	32
Gambar 3.6	Skema Preparasi SEM dengan Waktu Pengendapan 24jam .	41
Gambar 3.7	<i>Vacuum Rubber Seal</i> .....	42
Gambar 4.1	Perbandingan Pengaruh antara Sampel Sirkulasi (NE Sirkulasi 10 menit), Sampel Elektromagnet Sirkulasi (E Sirkulasi 10 menit) dan Sampel Fluida Statis (Non-Treatment) Terhadap Presipitasi $\text{CaCO}_3$ .....	44
Gambar 4.2	Pengaruh Variasi Konsentrasi Larutan $\text{NaHCO}_3$ dan $\text{CaCl}_2$ Tanpa Perlakuan ( <i>Non-Treatment</i> ) terhadap Persentase Presipitasi $\text{CaCO}_3$ Total pada Waktu Presipitasi 0 jam (Setelah Sirkulasi), 1 jam, 6 jam dan 24 jam .....	46
Gambar 4.3	Pengaruh Variasi Konsentrasi Larutan $\text{NaHCO}_3$ dan $\text{CaCl}_2$ terhadap Persentase Presipitasi $\text{CaCO}_3$ Total dengan Perlakuan Elektromagnetisasi (E) dan Non-Elektromagnetisasi (NE) pada Waktu Presipitasi 0 jam (Setelah Sirkulasi), 1 jam, 6 jam dan 24 jam.....	48
Gambar 4.4	Pengaruh Variasi Konsentrasi Larutan $\text{NaHCO}_3$ dan $\text{CaCl}_2$ terhadap Persentase Presipitasi $\text{CaCO}_3$ dan Persen Kenaikan Presipitasi Relatif pada Waktu Presipitasi 1 jam...	50

Gambar 4.5	Pengaruh Lama Sirkulasi terhadap Persentase Presipitasi Total $\text{CaCO}_3$ dengan Perlakuan Elektromagnetisasi (E) dan Non-Elektromagnetisasi (NE) pada Waktu Presipitasi 0 jam (setelah sirkulasi), 1 jam, 6 jam dan 24 jam Presipitasi 1 jam.....	51
Gambar 4.6	Pengaruh Lama Sirkulasi terhadap Persentase Presipitasi $\text{CaCO}_3$ Total dan Persen Kenaikan Presipitasi Relatif antara Sampel Elektromagnetisasi dan Non-Elektromagnetisasi pada Waktu Presipitasi 1 Jam.....	53
Gambar 4.7	Pengaruh Laju Alir terhadap Persentase Presipitasi Total $\text{CaCO}_3$ dengan Perlakuan Elektromagnetisasi (E) dan Non-Elektromagnetisasi (NE) pada Waktu Presipitasi 0 jam (setelah sirkulasi), 1 jam, 6 jam dan 24 jam.....	54
Gambar 4.8	Pengaruh Laju Alir terhadap Persentase Presipitasi $\text{CaCO}_3$ Total dan Persen Kenaikan Presipitasi Relatif antara Sampel Elektromagnetisasi dan Non- Elektromagnetisasi pada Waktu Presipitasi 1 jam. ....	56
Gambar 4.9	Hasil Uji SEM Partikel $\text{CaCO}_3$ Perbesaran 1000 Kali dengan Konsentrasi 0,02 M, Laju Alir 19,06 ml/s dan Lama Sirkulasi 10 Menit (a) Sampel Elektromagnetisasi (E); (b) Sampel Non-Elektromagnetisasi (NE).....	58
Gambar 4.10	Hasil Uji SEM Partikel $\text{CaCO}_3$ Sampel Elektromagnetisasi Perbesaran 1000 Kali Sebagai Perbandingan Konsentrasi dengan Laju Alir 19,06 ml/s dan Lama Sirkulasi 10 Menit (a) Konsentrasi 0,01 M ; (b) Konsentrasi 0,02 M. ....	60
Gambar 4.11	Hasil Uji SEM Partikel $\text{CaCO}_3$ Sampel Elektromagnetisasi Perbesaran 1000 Kali Sebagai Perbandingan Lama Sirkulasi dengan Laju Alir 19,06 ml/s dan Konsentrasi 0,01 M (a) Lama Sirkulasi 10 menit ; (b) Lama Sirkulasi 40 menit.....	62
Gambar 4.12	Hasil Uji SEM Partikel $\text{CaCO}_3$ Sampel Elektromagnetisasi Perbesaran 1000 Kali Sebagai Perbandingan Laju Alir dengan Lama Sirkulasi 10 menit dan Konsentrasi 0,01 M (a) Laju Alir 19,06 ml/s ; (b) Laju Alir 34,37 ml/s. ....	63

## DAFTAR LAMPIRAN

A.	Contoh Perhitungan.....	70
B.	Data Hasil Titration Variasi Konsentrasi.....	73
B.1	Perbandingan Konsentrasi Non-Treatment .....	73
B.1.1	Konsentrasi 0,01 M .....	73
B.1.2	Konsentrasi 0,015 M .....	73
B.1.3	Konsentrasi 0,02 M .....	73
B.2	Perbandingan Konsentrasi Elektromagnetisasi dan Non- Elektromagnetisasi .....	73
B.1.1	Konsentrasi 0,01 M .....	74
B.1.2	Konsentrasi 0,015 M .....	74
B.1.3	Konsentrasi 0,02 M .....	75
C.	Data Hasil Titration Lama Sirkulasi .....	75
C.1	Lama Sirkulasi 10 Menit .....	76
C.2	Lama Sirkulasi 20 Menit .....	76
C.3	Lama Sirkulasi 40 Menit .....	77
D.	Data Hasil Titration Variasi Laju Alir .....	78
D.1	Laju Alir 10,96 ml/s .....	78
D.2	Laju Alir 19,06 ml/s .....	79
D.3	Laju Alir 34,37 ml/s .....	79
E.	Perhitungan Persen Kenaikan Presipitasi Relatif antara Sampel Elektromagnetisasi dan Non-Elektromagnetisasi .....	80
E.1	Variasi Konsentrasi.....	80
E.2	Variasi Lama Sirkulasi .....	82
E.3	Variasi Laju Alir .....	83
F.	Perhitungan Kuat Medan Magnet pada Solenoida.....	85



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Air banyak digunakan untuk proses-proses industri kimia dan rumah tangga. Air dengan kandungan ion  $\text{Ca}^{2+}$  yang tinggi dapat mengakibatkan kesadahan. Tingginya kandungan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dalam air sadah, akan menyebabkan kebutuhan sabun yang lebih banyak pada proses pembersihan alat sehingga akan meningkatkan biaya operasional dari suatu alat. Disamping itu, kesadahan air juga menyebabkan pembentukan kerak (*scale*) berupa deposit  $\text{CaCO}_3$  pada sistem perpipaan baik di industri maupun rumah tangga. Keberadaan kerak ini menyebabkan beberapa kerugian, diantaranya dapat menyumbat air yang mengalir dalam pipa, meningkatkan konsumsi energi pompa dan juga menghambat transfer panas pada alat penukar panas.

Beberapa metode pengolahan air telah dikembangkan dan dicoba untuk mengontrol terbentuknya kerak, seperti metode pengolahan air secara kimia yaitu penambahan bahan kimia, *reverse osmosis*, dan *Ion Exchange*. Metode secara kimia ini dapat mengubah sifat kimiawi dan sifat fisika dari air sehingga tidak cukup aman untuk penggunaan pada rumah tangga maupun industri makanan dan investasinya cukup besar. Saat ini telah dikembangkan juga metode pengolahan air secara fisik yaitu *Magnetic Water Treatment* yang merupakan metode pengolahan air dengan memaparkan air pada medan magnet. Efek dari magnetisasi ini akan menyebabkan air kehilangan kemampuan untuk membentuk *hardscale* dan hanya membentuk *softscale* (Kobe et al. 2003). Berkembangnya *magnetic water treatment* memicu untuk mengembangkan metode pengolahan air dengan medan elektromagnetik. Magnet Permanen yang digunakan dalam *Magnetic Water Treatment* hanya menghasilkan frekuensi yang statik dan kontinyu sehingga tumbukan dari ion – ion akan seragam sepanjang aliran air





sadah. Sedangkan bila menggunakan medan elektromagnetik, frekuensinya dapat diatur sehingga terdapat perubahan medan magnet yang akan menghasilkan presipitasi yang lebih efektif dan lebih cepat dibandingkan dengan medan magnet statik. Atas dasar teori inilah dilakukan penelitian mengenai pengaruh medan elektromagnetik terhadap presipitasi  $\text{CaCO}_3$ . Pengolahan air dengan medan elektromagnetik dihipotesiskan tidak menimbulkan perubahan kimia terhadap air yang diolah sehingga air dapat diminum, biaya pemeliharaan dan operasionalnya yang relatif rendah, dan dapat diaplikasikan dalam skala kecil seperti rumah tangga maupun skala besar.

Penelitian pengolahan air dengan medan elektromagnetik ini sudah dilakukan secara bertahap dari tahun 1997. Dimulai dari Young I Cho (1997) yang memperkenalkan teknologi pencegahan kerak (*Electronic Anti- Fouling - EAF*). Fan dan Cho (1997) kemudian mengamati partikel  $\text{CaCO}_3$  yang dihasilkan dari teknologi EAF secara mikroskopis, kristal yang dihasilkan berukuran besar dengan diameter  $10 \mu\text{m} - 20 \mu\text{m}$ , sedangkan air yang tanpa perlakuan hanya terlihat kristal kecil dengan diameter  $1 \mu\text{m} - 10 \mu\text{m}$  (Fan et al. 1997). Namun Fan dan Cho hanya mengamati kristal  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk dan tidak menganalisis jumlah kandungan ion  $\text{Ca}^{2+}$  yang ada dilarutan. Pengolahan air dengan medan elektromagnetik ini memiliki prinsip dasar yang sama dengan EAF yaitu menggunakan kumparan yang dialiri listrik sehingga menghasilkan getaran tertentu untuk menciptakan variasi waktu magnetik di dalam pipa dan menghasilkan induksi listrik yang sesuai dengan Hukum Faraday. Induksi listrik menyebabkan agitasi molekular untuk melarutkan ion-ion mineral. Melalui tumbukan yang berkelanjutan maka ion- ion akan lebih cepat berpresipitasi.

Dalam penelitian ini, induksi listrik dilakukan dengan sistem sirkulasi fluida dinamik yaitu pada fluida yang bergerak dan disirkulasi. Ide dari pengolahan air dengan medan elektromagnetik ini bukan untuk menghilangkan  $\text{Ca}^{2+}$  atau  $\text{CaCO}_3$ , namun untuk mempercepat presipitasi  $\text{CaCO}_3$ . Setelah melewati medan elektromagnetik maka diperlukan proses pengendapan dan filtrasi guna memisahkan partikel  $\text{CaCO}_3$  dari air sadah sehingga tingkat kesadahan akan berkurang. Uji *Scanning Electron Microscope* (SEM) juga dilakukan untuk menganalisis morfologi, ukuran dan jumlah partikel  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk.

Dalam penelitian ini juga dilakukan variasi terhadap variabel kondisi operasi seperti konsentrasi, laju alir dan lama sirkulasi sehingga diketahui pengaruh variabel kondisi operasi tersebut terhadap efektivitas medan elektromagnetik dalam mempercepat presipitasi  $\text{CaCO}_3$ . Hasil penelitian terkini yang dilakukan oleh Leonard (2007) menunjukkan pengaruh medan elektromagnetik pada air sadah mampu meningkatkan pembentukan jumlah partikel  $\text{CaCO}_3$  hingga 540 % dibanding tanpa perlakuan pada laju alir tinggi. Teknologi pengolahan air dengan medan elektromagnetik ini perlu diteliti lagi secara intensif agar diketahui dengan jelas pengaruh dari medan elektromagnetik terhadap presipitasi  $\text{CaCO}_3$  sehingga dapat diterapkan dalam skala kecil seperti rumah tangga maupun industri besar.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Masalah yang dikaji dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh medan elektromagnetik terhadap presipitasi  $\text{CaCO}_3$ .
2. Bagaimana pengaruh variabel kondisi operasi seperti laju alir, konsentrasi dan lama sirkulasi terhadap efektivitas medan elektromagnetik dan presipitasi  $\text{CaCO}_3$ .
3. Bagaimana morfologi kristal dan populasi  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menguji pengaruh medan elektromagnetik terhadap presipitasi  $\text{CaCO}_3$  dengan sistem fluida dinamik
2. Mengkaji pengaruh variabel kondisi operasi seperti laju alir, konsentrasi dan lama sirkulasi.
3. Melihat morfologi deposit kristal dan populasi  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk

### **1.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Jenis sistem fluida yang akan digunakan adalah fluida dinamik (fluida yang diberi medan elektromagnetik dalam keadaan bergerak atau disirkulasi).

- 2 Larutan air sadah yang digunakan adalah larutan sintesis  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$ .
- 3 Variabel yang divariasikan adalah variabel kondisi operasi seperti laju alir, konsentrasi dan lama sirkulasi.
- 4 Mengukur kandungan ion  $\text{Ca}^{2+}$  pada larutan dengan titrasi kompleksometri EDTA. Pengukuran dilakukan terhadap sampel yang dielektromagnetisasi maupun yang tidak dielektromagnetisasi.
- 5 Morfologi dan populasi partikel  $\text{CaCO}_3$  di larutan akan dianalisis dengan SEM.

### **1.5 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan makalah ini disusun sebagai berikut:

#### **Abstrak**

#### **Bab 1 : Pendahuluan**

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

#### **Bab 2 : Tinjauan Pustaka**

Bab ini berisi tentang air sadah, mekanisme pembentukan partikel  $\text{CaCO}_3$  tanpa medan elektromagnetik, metode pengolahan air dengan magnet statik, metode pengolahan air dengan medan elektromagnetik, mekanisme proses pengolahan air dengan medan elektromagnetik, dan variabel kondisi operasi yang mempengaruhi efektivitas medan elektromagnetik.

#### **Bab 3 : Metode Penelitian**

Bab ini berisi mengenai metodologi penelitian secara keseluruhan mencakup diagram alir penelitian, preparasi alat dan bahan, prosedur penelitian, prosedur pengujian variabel kondisi operasi, prosedur analisis yang digunakan dalam penelitian dan prosedur pengolahan data.

## **Bab 4 Hasil dan Pembahasan**

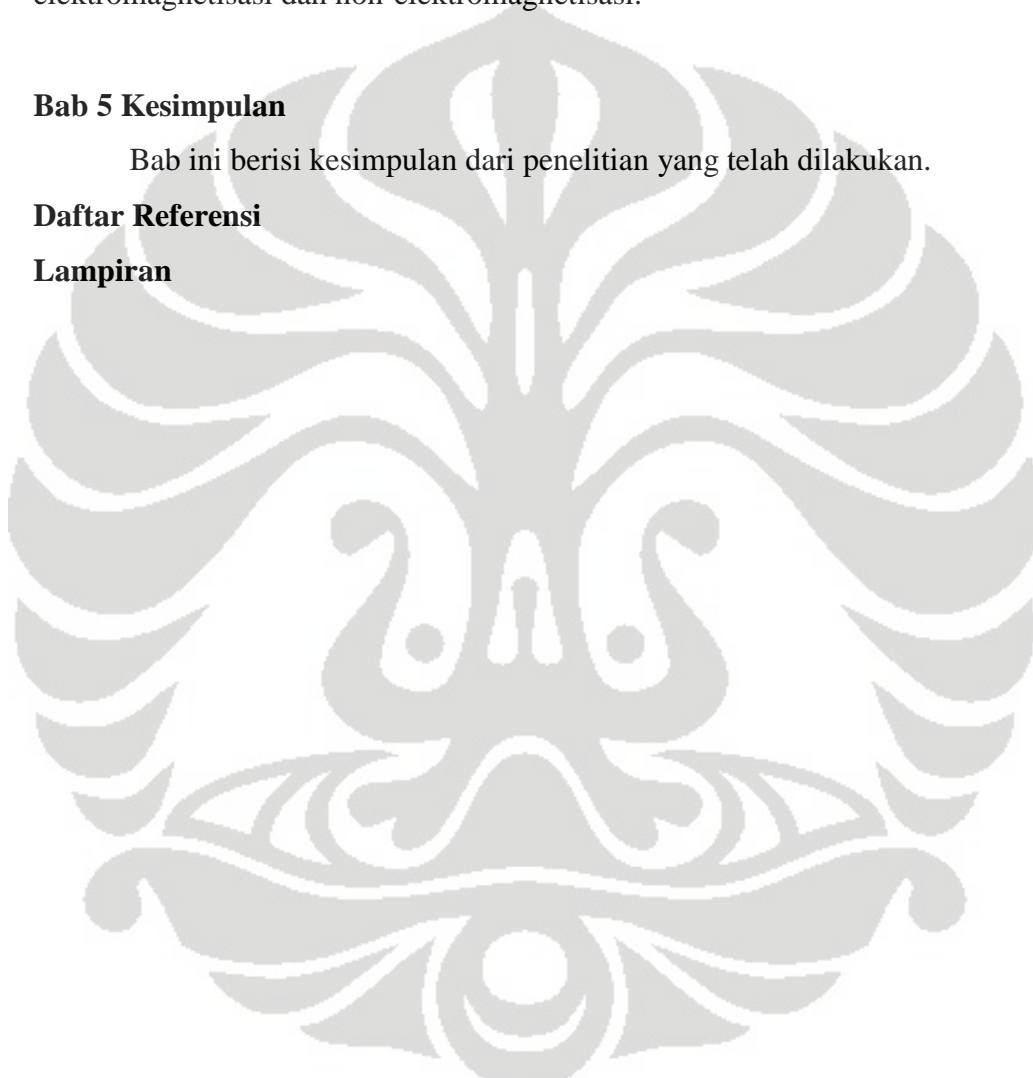
Dalam bab ini berisikan pembahasan terhadap hasil dan fenomena-fenomena yang terjadi selama penelitian seperti pengaruh sirkulasi dan medan elektromagnetik terhadap presipitasi  $\text{CaCO}_3$ , pengaruh variabel kondisi operasi terhadap presipitasi  $\text{CaCO}_3$  dan efektivitas medan elektromagnetik, serta morfologi dan populasi partikel  $\text{CaCO}_3$  dari hasil SEM untuk sampel elektromagnetisasi dan non-elektromagnetisasi.

## **Bab 5 Kesimpulan**

Bab ini berisi kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

## **Daftar Referensi**

## **Lampiran**





## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai air sadah, mekanisme pembentukan partikel  $\text{CaCO}_3$  tanpa medan elektromagnetik, metode pengolahan air dengan magnet statik, metode pengolahan air dengan medan elektromagnetik, dan variabel kondisi operasi yang mempengaruhi efektivitas medan elektromagnetik.

#### 2.1 Air Sadah

Air sadah adalah air yang mengandung ion – ion terlarut berlebih seperti  $\text{Ca}^{2+}$  melebihi batas daya larut dari tiap ion sehingga menjadi tidak stabil. Adanya kontak antara air permukaan dengan mineral dan logam didalam tanah semakin memicu timbulnya kesadahan. Proses pelarutan ini meningkat dengan adanya gas terlarut dalam air, seperti  $\text{CO}_2$  dan  $\text{O}_2$ . Kesadahan air digolongkan seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Tingkat Kesadahan air

Tingkat kesadahan	Kesadahan (mg/L ion $\text{Ca}^{2+}$ )
<i>Soft</i>	0 – 20
<i>Moderately Soft</i>	20 – 40
<i>Slightly hard</i>	40 – 60
<i>Moderately hard</i>	60 – 80
<i>hard</i>	80 - 120
<i>Very hard</i>	> 120

[http://en.wikipedia.org/wiki/Hard\\_water](http://en.wikipedia.org/wiki/Hard_water)

Berdasarkan Tabel 2.1, terdapat dua jenis kesadahan yaitu kesadahan sementara dan kesadahan permanen ([http://en.wikipedia.org/wiki/Hard\\_water](http://en.wikipedia.org/wiki/Hard_water) 2008). Kesadahan sementara disebabkan oleh kombinasi ion kalsium dan

bikarbonat di dalam air. Kesadahan ini dapat dihilangkan dengan memanaskan atau mendidihkan air dan dengan penambahan *lime* (kalsium hidroksida). Pemanasan mendorong pembentukan karbonat dari bikarbonat dan mempresipitasikan karbonat di luar larutan, sehingga air berkurang kesadahannya sewaktu mulai dingin. Reaksi kesetimbangan sewaktu  $\text{CaCO}_3$  terlarut di dalam air yaitu:



Sewaktu pemanasan, sedikit  $\text{CO}_2$  dapat larut dalam air. Karena tidak terdapat cukup  $\text{CO}_2$  disekelilingnya, maka reaksi tidak dapat berlangsung dari kiri ke kanan kemudian  $\text{CaCO}_3$  tidak akan larut dengan cepat. Dan akhirnya reaksi dipaksa untuk bergerak ke kiri untuk mencapai kesetimbangan dan padatan  $\text{CaCO}_3$  terbentuk. Pemanasan ini dapat menghilangkan kesadahan air jika kristal  $\text{CaCO}_3$  hasil presipitasi sudah hilang. Setelah pendinginan, jika terdapat cukup waktu maka air akan mengambil  $\text{CO}_2$  dari udara dan reaksi akan berlangsung kembali dari kiri ke kanan, membiarkan  $\text{CaCO}_3$  larut kembali dalam air. Kesadahan permanen adalah kesadahan yang tidak dapat dihilangkan dengan pemanasan. Kesadahan ini disebabkan oleh keberadaan kalsium dalam air, yang menjadi semakin larut seiring dengan kenaikan temperatur. Kesadahan dapat menyebabkan pembentukan kerak pada pipa atau alat transfer panas seperti dapat dilihat pada Gambar 2.1.



**Gambar 2. 1** Endapan Kerak pada Pipa

(<http://www.scaleblaster.com/Downloads/scaleblaster%20new.ppt>)



Kerak seperti pada Gambar 2.1 terbentuk sewaktu air sadah dipanaskan. Kerak akan menyebabkan penyumbatan air yang mengalir dalam pipa, pengurangan kapasitas kecepatan aliran dalam pipa, peningkatan konsumsi energi pompa dan penghambatan transfer panas pada alat penukar panas. Dalam industri, kesadahan air selalu dikontrol untuk mencegah tingginya biaya operasional dalam pengoperasian *boiler*, *cooling tower*, *heat exchanger* dan alat lain yang berhubungan langsung dengan air.

## 2.2 Mekanisme Pembentukan Partikel $\text{CaCO}_3$ Tanpa Medan Elektromagnetik

Untuk lebih memahami mekanisme pembentukan partikel  $\text{CaCO}_3$  tanpa medan elektromagnetik, maka akan dibahas mengenai reaksi kesetimbangan dan aspek termodinamika pembentukan partikel  $\text{CaCO}_3$ , presipitasi  $\text{CaCO}_3$  di permukaan dan di larutan serta pengaruh hidrodinamika fluida terhadap proses pembentukan  $\text{CaCO}_3$ .

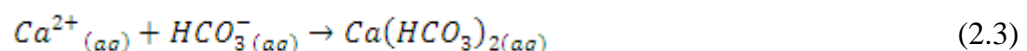
### 2.2.1 Reaksi kesetimbangan dan aspek termodinamik pembentukan partikel $\text{CaCO}_3$

Mekanisme presipitasi partikel  $\text{CaCO}_3$  pada air sadah merupakan proses kesetimbangan yang dipengaruhi oleh kesadahan air, suhu, pH, dan kejenuhan (supersaturasi). Mekanisme pembentukan  $\text{CaCO}_3$  di alam adalah sebagai berikut:

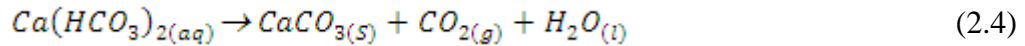
1. Terjadi reaksi antara  $\text{H}_2\text{O}$  dengan gas  $\text{CO}_2$  yang terlarut dalam air membentuk asam bikarbonat. Karbondioksida yang terlarut ini merupakan hasil absorpsi dari udara maupun hasil respirasi dari bakteri tanah.



2. Asam Bikarbonat di dalam air pada kondisi pH lingkungan (Ph 4,5-7,5) umumnya berbentuk ion bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ). Ion bikarbonat ini dapat bereaksi dengan ion kalsium pada air sadah yang kemudian membentuk kalsium bikarbonat.



3. Kenaikan temperatur menyebabkan terjadinya pelepasan gas CO<sub>2</sub> (desorpsi CO<sub>2</sub>) ke fasa gas sehingga kalsium bikarbonat kemudian terpresipitasi membentuk CaCO<sub>3</sub>.



Supersaturasi pada titik kristalisasi merupakan penyebab terbentuknya kerak. Supersaturasi adalah larutan yang mengandung ion terlarut dengan konsentrasi lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi kesetimbangannya. Harga supersaturasi ( $\delta_s$ ) dari larutan merupakan fungsi dari hasil kali kelarutan (Ksp) dan konsentrasi ion Ca<sup>2+</sup> dan CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> dilarutkan seperti pada persamaan (2.5).

$$\delta_s = \frac{(Ca^{2+})(CO_3^{2-})}{K_{sp}} \quad (2.5)$$

Harga Ksp CaCO<sub>3</sub> kalsit pada suhu 25 °C adalah 8,7x10<sup>-9</sup> sedangkan konsentrasi (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) dapat dihitung dengan persamaan (2.7) (Knez et al. 2005):

$$(CO_3^{2-}) = 5.6.10^{-11} (HCO_3^-)/10^{-pH} \quad (2.6)$$

Pembentukan inti/ nuklei CaCO<sub>3</sub> secara spontan di larutan (*homogenuos nucleation*) membutuhkan harga supersaturasi  $\delta_s = \delta_{kritis} = 40$  dan di permukaan (deposit)  $\delta_s = \delta_{kritis} = 20$  dimana presipitasi baru mulai terjadi pada pH 8,5 untuk konsentrasi CaCO<sub>3</sub> sebesar 400 ppm (Fathi et al. 2006). Harga supersaturasi ( $\delta_s$ ) dari model larutan CaCO<sub>3</sub> merupakan fungsi konsentrasi CaCO<sub>3</sub> terlarut dan pH larutan seperti yang diberikan pad Tabel 2.2.

**Tabel 2. 2** Nilai Supersaturasi ( $\delta_s$ ) pada Beberapa Tingkat Kesadahan dan pH pada Suhu 25°C

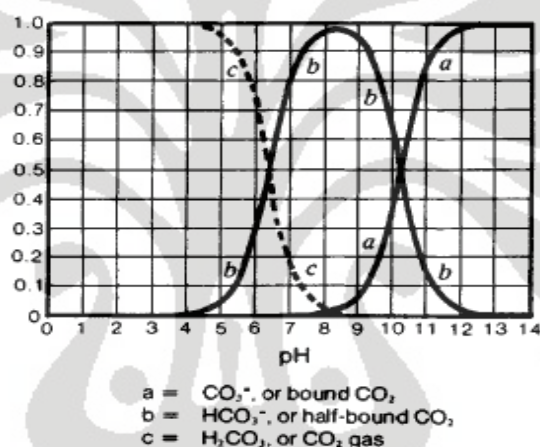
Kesadahan (ppm CaCO <sub>3</sub> )	Supersaturasi ( $\delta_s$ )			
	pH 5,7	pH 6,0	pH 7,0	pH 7,5
300	0,05	0,18	1,32	6,1
400	0,15	0,32	3,2	10,11
500	0,23	0,47	4,72	14,93

(Fathi et al. 2006)

Presipitasi CaCO<sub>3</sub> menggunakan larutan CaCO<sub>3</sub> berjalan sangat lambat karena terjadi pada supersaturasi rendah (pH 6 – 8). Para peneliti melakukan beberapa cara untuk mempercepat proses presipitasi CaCO<sub>3</sub> yaitu dengan:

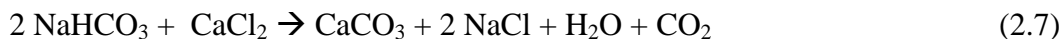
menaikkan suhu (Saksono et al. 2007), menaikkan pH dan degassing gas  $\text{CO}_2$  dengan  $\text{N}_2$  (Fathi et al. 2006), dan memberikan beda potensial pada larutan (Gabielli et al. 2001). Larutan  $\text{CaCO}_3$  didapat dengan melarutkan  $\text{CaCO}_3$  bubuk dalam air dan mengalirkan gelembung gas  $\text{CO}_2$ . Larutan  $\text{CaCO}_3$  yang dihasilkan bersifat asam (pH : 5,5 – 6,5) dan akan meningkat mendekati pH iso-elektrik kalsit yaitu sekitar 8,4 seiring dengan meningkatnya kejenuhan larutan  $\text{CaCO}_3$ .

Di dalam sistem larutan karbonat terdapat kesetimbangan antara  $\text{CO}_2$ , ion  $\text{CO}_3^{2-}$  (karbonat) dan  $\text{HCO}_3^-$  (bikarbonat). Besarnya fraksi ketiga jenis molekul tersebut dalam larutan merupakan fungsi dari pH larutan seperti yang terlihat pada Gambar 2.2.



**Gambar 2. 2** Efek Perubahan pH Terhadap Fraksi  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  dalam Larutan (Kemmer 1988)

Pada Gambar 2.2 terlihat ion  $\text{HCO}_3^-$  yang didapatkan dari larutan  $\text{NaHCO}_3$  memiliki nilai pH sebesar 8,8. Fraksi  $\text{HCO}_3^-$  pada larutan sebesar 95% dan  $\text{CO}_3^{2-}$  5% untuk nilai pH 8,8 (Kemmer 1988). Artinya pada harga pH tersebut ion yang ada dalam larutan di dominasi oleh  $\text{HCO}_3^-$  bukan  $\text{CO}_3^{2-}$ , maka presipitasi berlangsung lambat sehingga lebih mendekati proses pembentukan kerak sesungguhnya. Jadi penggunaan model larutan  $\text{NaHCO}_3$  lebih ditujukan untuk memperjelas pengaruh medan elektromagnetik terhadap ion  $\text{HCO}_3^-$  dalam proses pembentukan partikel  $\text{CaCO}_3$ . Reaksi dari model larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  secara lengkap dapat dilihat pada persamaan (2.7).



Untuk melihat aspek termodinamika dari reaksi yang terjadi antara  $\text{HCO}_3^-$  dan  $\text{Ca}^{2+}$  maka dapat dilihat pada Tabel 2.3.

**Tabel 2. 3** Data Termodinamik Reaksi Pembentukan  $\text{CaCO}_3$

Reaksi Keseimbangan	$\Delta H^\circ$ (kcal/mol)	$\Delta G^\circ$ (kcal/mol)
$\text{Ca}^{2+}_{(aq)} + 2\text{HCO}_3^-_{(aq)} \rightleftharpoons \text{CO}_{2(aq)} + \text{CaCO}_{3(s)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)}$	4,68	-5,88
$2\text{HCO}_3^-_{(aq)} \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-}_{(aq)} + \text{CO}_{2(aq)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)}$	3,72	+5.4
$\text{Ca}^{2+}_{(aq)} + \text{CO}_3^{2-}_{(aq)} \rightleftharpoons \text{CaCO}_{3(s)}$	2.95	-11,48

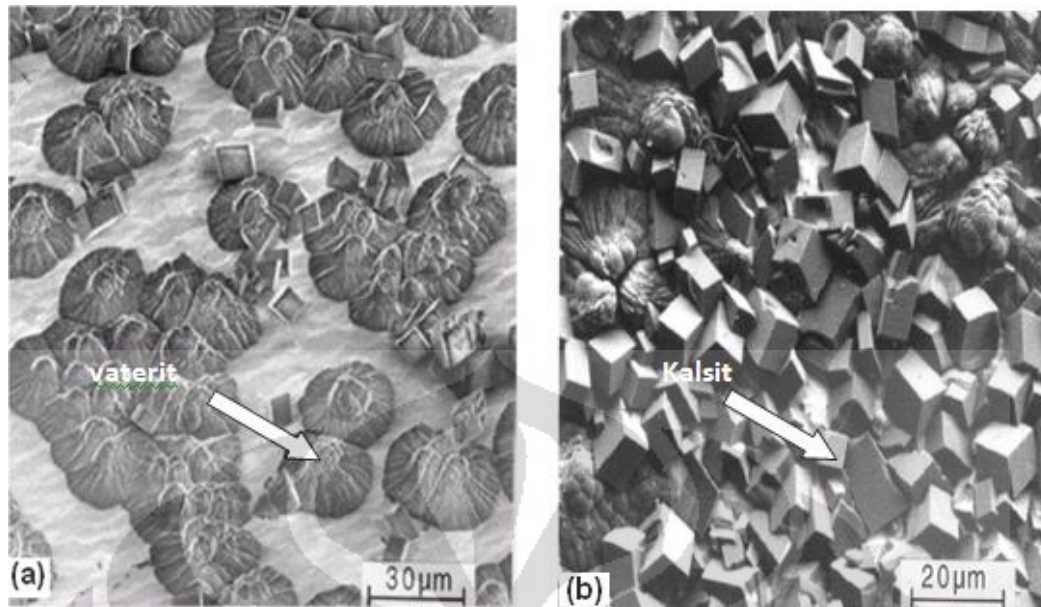
Tabel 2.3 menunjukkan reaksi pembentukan  $\text{CaCO}_3$  yang berasal dari  $\text{HCO}_3^-$  dan  $\text{Ca}^{2+}$  memiliki  $\Delta G^\circ$  sebesar -5,88 kcal/mol yang nilainya lebih kecil dibandingkan dengan reaksi pembentukan  $\text{CaCO}_3$  yang berasal dari  $\text{CO}_3^{2-}$  dan  $\text{Ca}^{2+}$  dengan  $\Delta G^\circ$  sebesar -11,48 kcal/mol. Semakin besar  $-\Delta G^\circ$  dari suatu reaksi, maka reaksi tersebut akan semakin spontan. Jadi, reaksi pembentukan  $\text{CaCO}_3$  dari  $\text{HCO}_3^-$  dan  $\text{Ca}^{2+}$  akan berlangsung lebih lambat jika dibandingkan dengan reaksi pembentukan  $\text{CaCO}_3$  dari  $\text{CO}_3^{2-}$  dan  $\text{Ca}^{2+}$ .

### 2.2.2 Presipitasi $\text{CaCO}_3$ di permukaan dan di larutan

Partikel  $\text{CaCO}_3$  dapat terbentuk di larutan (bulk) maupun di bagian permukaan. Keduanya mempunyai perbedaan karakteristik, dimana di larutan yang terjadi adalah presipitasi homogen sedangkan pada permukaan yang terjadi adalah presipitasi heterogen. Presipitasi homogen adalah proses pembentukan fasa padat yang hanya dipengaruhi oleh interaksi partikel – partikel di larutan, sedangkan presipitasi heterogen adalah proses pembentukan zat padat yang dikatalisis oleh adanya interaksi dengan permukaan maupun adanya interaksi partikel di larutan (Tao Chen et al. 2005).

Presipitasi  $\text{CaCO}_3$  dalam larutan dibagi dalam tiga tahapan yaitu nukleasi, dehidrasi dan pertumbuhan kristal. Prosesnya diawali dengan aglomerasi ion-ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  membentuk kluster. Interaksi yang lebih kuat menyebabkan agregat tersebut membentuk koloid nuklei dan akan tumbuh menjadi kristal yang stabil (Ben Amor et al. 2004). Koloid nuklei yang terbentuk pada awal presipitasi diidentifikasi sebagai  $\text{CaCO}_3$  amorf (ACC) yang bersifat tidak stabil. ACC selanjutnya bertransformasi membentuk kristal vaterit yang berbentuk bola dan kalsit yang berbentuk kotak. Kristal vaterit bersifat meta-stabil dan akan bertransformasi lebih lanjut menjadi kalsit. Kerak membentuk polimorf yang berbeda – beda yaitu kalsit, vaterit dan aragonit. Kalsit adalah kalsium karbonat yang terbentuk pada suhu ruang (dibawah  $30^\circ\text{C}$ ). Aragonit merupakan kalsium karbonat yang terbentuk pada suhu tinggi (diatas  $30^\circ\text{C}$ ). Kalsit merupakan mineral yang paling stabil sedangkan aragonit dan vaterit fase yang metastabil.

Presipitasi di permukaan (deposit) akan jauh lebih dominan membentuk kristal kalsit dibanding presipitasi di larutan. Gabrielli mengamati deposit  $\text{CaCO}_3$  menggunakan larutan  $\text{CaCO}_3$  (Gabrielli et al. 1999). Hasil pengamatan pada Gambar 2.3 menunjukkan bahwa vaterit merupakan jenis kristal yang banyak terbentuk pada fasa permukaan untuk waktu deposit kurang dari 7 menit, sedangkan untuk waktu yang lebih lama (25 menit) struktur kalsit merupakan jenis yang paling banyak terbentuk. Hal ini menunjukkan bahwa kristal vaterit mengalami transformasi di permukaan membentuk kristal kalsit yang lebih stabil. Gambar 2.3 tidak menunjukkan adanya pembentukan kristal aragonit karena suhu larutan relatif masih rendah ( $25^\circ\text{C}$ ).

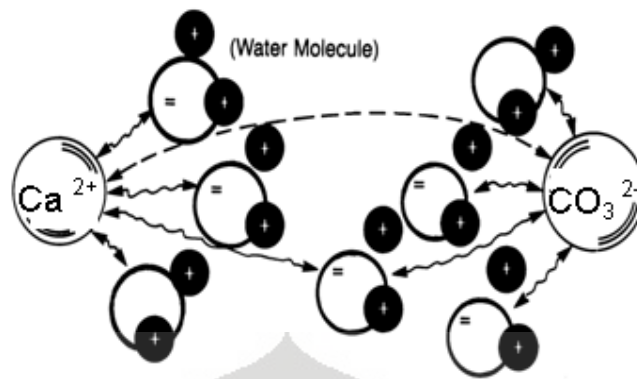


**Gambar 2. 3** Analisis SEM dari Deposit  $\text{CaCO}_3$  pada Permukaan Logam Emas pada Kondisi Larutan 120 ppm  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $25^\circ\text{C}$  dan laju alir 300 ml/min untuk (a) Deposit 7 menit: Kristal Veterit; (b) Deposit 25 menit: Veterit dan Kalsit (Gabrielli et al. 1999).

Ben Amor mempelajari pengaruh kesadahan air, jenis permukaan wadah dan suhu pada proses nukleasi  $\text{CaCO}_3$  menggunakan model larutan  $\text{CaCO}_3$  (Ben Amor et al. 2004). Hasil yang didapat menunjukkan pada kesadahan rendah (0,2 gr  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ) presipitasi  $\text{CaCO}_3$  di deposit jauh lebih dominan (98 %) dibanding presipitasi  $\text{CaCO}_3$  pada fasa larutan (2 %), sedangkan pada kesadahan tinggi (0,5 gr  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ), presipitasi pada fasa larutan mulai signifikan mencapai hingga (23 %).

### 2.2.3 Pengaruh hidrodinamika fluida terhadap proses pembentukan $\text{CaCO}_3$

Ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  pada air sadah akan dikelilingi oleh molekul air membentuk suatu lapisan (*hydration shell*) yang akan menahan bergabungnya ion-ion tersebut membentuk molekul  $\text{CaCO}_3$  seperti yang terlihat pada Gambar 2.4.



**Gambar 2. 4** Orientasi Air Terhadap Ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  pada Air Sadah

Sifat interaksi ion dengan molekul air relatif lebih kuat dibanding interaksi hidrogen antar molekul air namun kekuatan interaksi hidrat ion dapat dipengaruhi oleh agitasi mekanik berupa pengadukan dan pemompaan. Proses pengadukan dan pemompaan air sadah menyebabkan terganggunya hidrat ion sehingga meningkatkan interaksi atau tumbukan antara ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  yang pada akhirnya akan mempercepat terbentuknya inti  $\text{CaCO}_3$ . Abdel melakukan percobaan pencampuran larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  menggunakan pengaduk. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan putar pengaduk mempercepat laju nukleasi  $\text{CaCO}_3$  (Abdel-Aal et al. 2002). Sirkulasi juga menyebabkan adanya peningkatan laju pembentukan deposit  $\text{CaCO}_3$  dengan meningkatnya laju alir fluida (Gabrielli et al. 1999).

### 2.3 Metode Pengolahan Air Dengan Magnet Statik

*Magnetic water treatment* (MWT) adalah pengolahan air sadah dengan menggunakan medan magnet statik yang dihasilkan dari magnet permanen. Efek magnetisasi akan menyebabkan air itu kehilangan kemampuan membentuk *hard scale* (kalsit) dan berujung pada pembentukan scale yang lebih soft (aragonit). Dari dasar teori magnetohidrodinamik, dapat diketahui bahwa fluida dinamis dari fluida yang terkonduksi seperti elektrolit cair, dapat diubah oleh lintasan melewati *transconducting* melalui medan magnetik (Busch et al. 1997). Sewaktu aliran konduksi mengalir melalui medan magnet, medan listrik yang dihasilkan berdasarkan hukum Faraday (Tipler 1991).

$$E = B \cdot v \quad (2.8)$$

Dimana:  $E$  = medan listrik  
 $v$  = kecepatan linear fluida  
 $B$  = kuat medan magnetik

Medan listrik menghasilkan perbedaan potensial yang menyebabkan arus listrik di dalam fluida. Hal ini sesuai dengan Hukum Ohm, sehingga menyebabkan fluida tertentu dan medan magnet menghasilkan gaya mekanik  $F$  pada fluida yang disebut dengan gaya *pendoromotive*.

$$F = j \cdot B \quad (2.9)$$

Dimana:  $j$  = kerapatan arus  
 $B$  = kuat medan magnetik  
 $F$  = gaya *pendoromotive*

Dalam kasus aliran turbulen, gaya *pendoromotive* dapat menimbulkan *shear stress* yang lebih tinggi disekitar dinding pipa yang dapat memicu terjadinya nukleasi dan presipitasi  $\text{CaCO}_3$ . Fenomena ini disebut *magnetohydrodynamic Effect*. Secara teori, selain penambahan efek magnetohidrodinamik, efek gaya Lorentz juga dapat terjadi. Jika suatu ion bermuatan seperti ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  bergerak melewati medan magnet maka akan mengalami gaya Lorentz  $F$  sebesar:

$$F = B \cdot q \cdot V_w \quad (2.10)$$

Dimana:  $B$  = kuat medan magnetik ;  $q$  = partikel bermuatan dan  $V_w$  = aliran air

Efek gaya Lorentz dapat menyebabkan pergeseran ion / partikel bermuatan. Hasil simulasi yang dilakukan oleh Kozic menunjukkan terjadi pergeseran 0,2 – 10 nm untuk ion dan 0,2 nm – 2  $\mu\text{m}$  untuk partikel, dimana harga tersebut memadai untuk menembus ketebalan dari electric double layer pada larutan jenuh  $\text{CaCO}_3$  sebagai sarat terjadinya presipitasi ion / partikel bermuatan (Kozic et al. 2003). Hasilnya adalah gaya Lorentz berpengaruh pada ion/ partikel bermuatan ( $q$ ).



Adanya gaya Lorentz pada spesies bermuatan mendorong terjadinya perpindahan lokal (*local convection movement*) dalam cairan yang dapat berkontribusi pada meningkatnya penggabungan antara ion-ion atau partikel-partikel koloid. Gaya Lorentz ini juga dapat menyebabkan efek interfacial berupa gangguan pada double layer ion-ion dan partikel (Baker et al. 1996). Argumentasi ini dapat diterima terutama untuk kasus larutan dengan konsentrasi jauh diatas kondisi lewat jenuh.

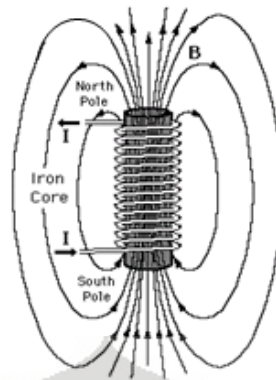
## **2.4 Metode Pengolahan Air Dengan Medan Elektromagnetik**

Metode Pengolahan air dengan medan elektromagnetik memiliki prinsip yang hampir sama dengan metode pengolahan air dengan medan magnet permanen. Akan tetapi pengolahan air dengan medan elektromagnetik ini menggunakan kumparan yang dialiri arus listrik dengan frekuensi yang dapat diatur sehingga terdapat perubahan medan magnet yang akan menghasilkan presipitasi yang lebih efektif dan lebih cepat dibandingkan dengan medan magnet statik dari magnet permanen. Hal ini dikarenakan magnet permanen hanya menghasilkan frekuensi yang statik dan kontinyu sehingga tumbukan dari ion – ion akan seragam sepanjang aliran air sadah.

Untuk lebih memahami prinsip kerja dari metode pengolahan air dengan medan elektromagnetik, maka diperlukan sedikit pembahasan mengenai sifat kumparan berarus listrik, pengaruh medan elektromagnetik terhadap presipitasi  $\text{CaCO}_3$ , desain proses medan elektromagnetik dan sistem fluida dinamik.

### **2.4.1 Sifat Magnetik Kumparan Berarus Listrik (Solenoida)**

Apabila sebuah kumparan dialiri arus listrik, maka kumparan tersebut akan melingkupi sejumlah garis gaya magnetik. Arah garis gaya magnetik di dalam kumparan ini dapat ditentukan dengan kaidah tangan kanan, yaitu ibu jari menyatakan arah arus listrik dan arah lipatan jari tangan kanan menyatakan arah garis gaya magnetik di dalam kumparan. Gambar 2.5 memperlihatkan arah arus listrik dan arah medan magnetik/garis gaya magnetik pada kumparan solenoida.



**Gambar 2. 5** Arah Arus Listrik dan Garis-Garis Gaya Magnetik pada Kumbaran Solenoida ([http://hyperphysics.phy\\_astr.gsu.edu/hbse/solids/ferro.html](http://hyperphysics.phy_astr.gsu.edu/hbse/solids/ferro.html))

Gambar 2.5 ini menunjukkan bahwa medan magnetik solenoida menyerupai medan magnet batang, sehingga ujung-ujung solenoida berfungsi sebagai kutub utara dan kutub selatan. Jika di dalam solenoida terdapat inti kumparan, sebagaimana pada magnet batang, garis-garis gaya magnetik di dalam inti kumparan berarah dari kutub selatan ke kutub utara, sedang di luar magnet garis-garis gaya magnetik terpecah dari kutub utara ke kutub selatan, sehingga kumparan bersifat magnet dan dapat menarik benda-benda yang bersifat paramagnetik. Persamaan matematika untuk solenoida yang menggunakan inti kumparan adalah sebagai berikut persamaan (2.11):

$$B = k \cdot n \cdot i \quad (2.11)$$

Dimana:  $B$  = kuat medan magnet (weber/m<sup>2</sup>)

$k$  = konstanta kesebandingan

$$= K \cdot \mu_0 = (\text{Relative Permeability}) \cdot 4 \pi 10^{-7}$$

$n$  = jumlah lilitan / panjang kumparan (N/L)

$i$  = kuat arus (A)

Kuat medan magnet juga dapat diukur menggunakan alat Gaussmeter.

#### 2.4.2 Pengaruh Medan Elektromagnetik Terhadap Presipitasi CaCO<sub>3</sub>

Medan Elektromagnetik menghasilkan getaran tertentu yang menciptakan variasi waktu magnetik di dalam pipa. Kemudian variasi waktu magnetik ini

menghasilkan induksi listrik di dalam pipa yang sesuai dengan Hukum Faraday pada persamaan (2.12).

$$\oint E \cdot ds = - \frac{\partial}{\partial t} \int B \cdot dA \quad (2.12)$$

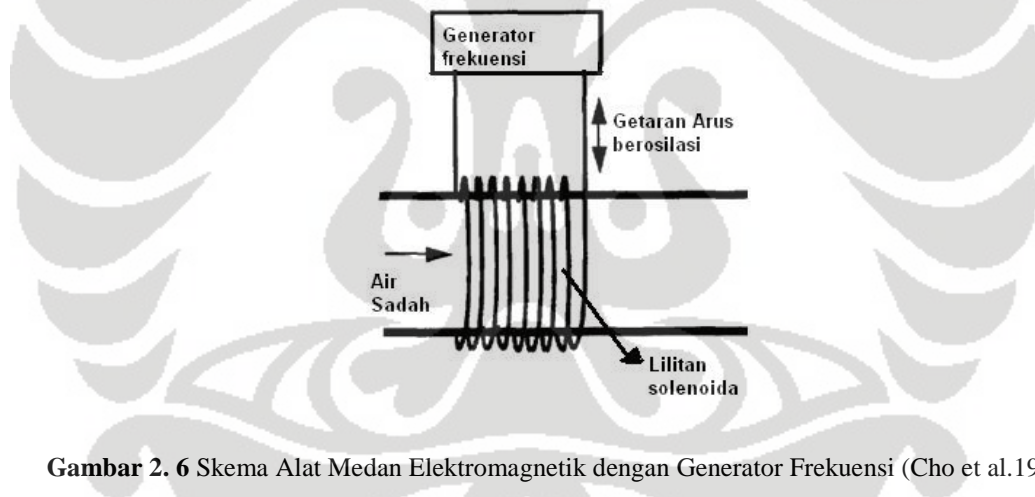
Dimana: E = vektor intensitas induksi listrik

s = vektor garis sepanjang arah

B = vektor kuat medan magnet

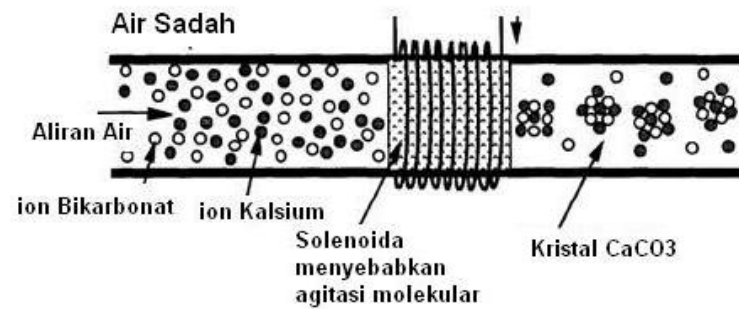
A = luas daerah

Skema sederhana dari alat ini digambarkan dalam Gambar 2.6. Solenoid dililitkan pada pipa yang dihubungkan dengan generator listrik sehingga menghasilkan getaran tertentu yang dapat menciptakan variasi waktu magnetik di dalam pipa (Cho et al. 1997).



**Gambar 2. 6** Skema Alat Medan Elektromagnetik dengan Generator Frekuensi (Cho et al.1997).

Induksi listrik yang berosilasi selama selang waktu tertentu akan menyebabkan agitasi molekular untuk mendorong ion mineral yaitu ion kalsium yang terlarut dan ion bikarbonat untuk saling berdekatan sehingga ion – ion tersebut lebih cepat bertumbukan dan berpresipitasi seperti yang terlihat pada Gambar 2.7. Sewaktu ion yang terlarut berubah menjadi kristal mineral yang tidak dapat dipecahkan, tingkat kelarutan (saturasi) dari air menurun secara signifikan, sehingga kesadahan air dapat diturunkan dengan berkurangnya jumlah ion kalsium dan ion bikarbonat di larutan (Cho et al. 1997).



**Gambar 2. 7** Skema Pengontrolan Presipitasi  $\text{CaCO}_3$  Melalui Proses Elektromagnetik (Cho et al.1997)

Untuk lebih memahami mekanisme dari proses ini, maka akan dijelaskan terlebih dahulu mengenai energi nukleasi. Proses nukleasi dapat terjadi secara homogen maupun heterogen yang berkaitan dengan konsep Energi bebas Gibbs.  $\Delta G$  pembentukan dari suatu substansi adalah kandungan panas untuk pembentukan substansi dikurangi suhu keluar dan entropi. Fungsi ini sering digunakan untuk mengevaluasi kesetimbangan termodinamika. Energi Gibbs nukleasi adalah penjumlahan dari energi di bulk dan energi di permukaan (Cho et al. 1997) seperti pada persamaan (2.13) dan energi bulk dapat didefinisikan seperti pada persamaan (2.14) (Cho et al. 1997).

$$\Delta G_{\text{nucleation}} = \Delta G_{(\text{bulk})} + \Delta G_{(\text{surface})} \quad (2.13)$$

$$\Delta G_{(\text{bulk})} = -jkTS = -\frac{4}{3}\pi r^3 \Delta G_v \quad (2.14)$$

- Dimana:
- $j$  = Jumlah molekul di nukleus
  - $k$  = Konstanta Boltzman
  - $T$  = Suhu Absolut
  - $r$  = Jari – jari nukleus
  - $\Delta G_v$  = Perubahan energi bebas per volum
  - $S$  = derajat atau tingkat kejenuhan

$\Delta G_{(\text{bulk})}$  selalu bernilai negatif yang mengindikasikan bahwa energi di bulk mengarahkan reaksi secara spontan. Energi ini adalah energi pelepasan selama

kristalisasi dari ikatan yang terbentuk. Energi permukaan dapat didefinisikan seperti pada persamaan (2.15) (Cho et al. 1997).

$$\Delta G_{(\text{surface})} = 4 \pi r^2 \gamma \quad (2.15)$$

Dimana:  $\gamma$  = tegangan permukaan

$\Delta G_{(\text{surface})}$  = energi yang dibutuhkan untuk membuat permukaan nucleus selalu bernilai positif.

Saat inisiasi nukleasi, jumlah molekul dalam nucleus sedikit seperti pada energi permukaan (dalam fungsi radius<sup>2</sup>) lebih besar daripada energi bulk (dalam fungsi radius<sup>3</sup>), membuat energi bebas Gibbs secara keseluruhan bernilai positif. Lalu reaksi tidak akan terjadi secara spontan tanpa energi masukan dari keluaran sistem. Seiring dengan tumbuhnya kristal, bulk akan menjadi lebih dominan, membuat energi bebas Gibbs bernilai negatif. Dan reaksi akan berlanjut secara spontan.

Gambar 2.9 menunjukkan bagaimana energi bebas Gibbs dari kristalisasi terpengaruh oleh ukuran nucleus dan tingkat kelarutan. Dengan mengasumsikan larutan sangat jenuh (*supersaturated*), nucleus tumbuh dibawah ukuran kritis untuk melanjutkan pertumbuhan nucleus. Dengan kata lain, energi bulk medan lebih besar daripada energi permukaan sehingga  $\Delta G_{\text{nucleation}}$  menjadi negatif dan reaksi kristalisasi berlangsung spontan. Energi yang harus disalurkan ke dalam sistem sebelum ini terjadi, dapat disebut sebagai energi aktivasi nukleasi. Secara umum, laju pembentukan nukleasi dapat dinyatakan pada persamaan (2.16) (Cho et al. 1997).

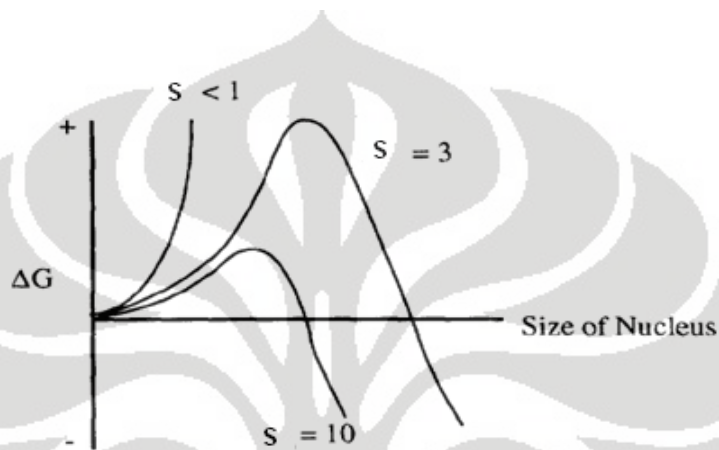
$$J \text{ (Laju Nukleasi)} = A \exp\left[\frac{-\Delta G}{kT}\right] = A \exp\left[\frac{-16\pi\gamma^3 v^2}{3kT^3 (\ln S)^3}\right] \quad (2.16)$$

Dimana: A= faktor frekuensi pada persamaan laju reaksi

S= Faktor supersaturasi

V= Volume molekular

Faktor frekuensi mengatur jumlah dari efektivitas tumbukan yang berhubungan dengan jumlah tumbukan total. Dalam kasus ini, terlihat bahwa laju nukleasi bergantung pada empat faktor, yaitu (Cho et al. 1997) faktor frekuensi, suhu, energi permukaan dan tingkat kelarutan. Penjelasan mengenai tingkatan saturasi dapat dilihat dalam Gambar 2.8.



**Gambar 2. 8** Profil Energi Bebas Gibbs pada Tiga Rasio Supersaturasi yang Berbeda (Cho et al.1997).

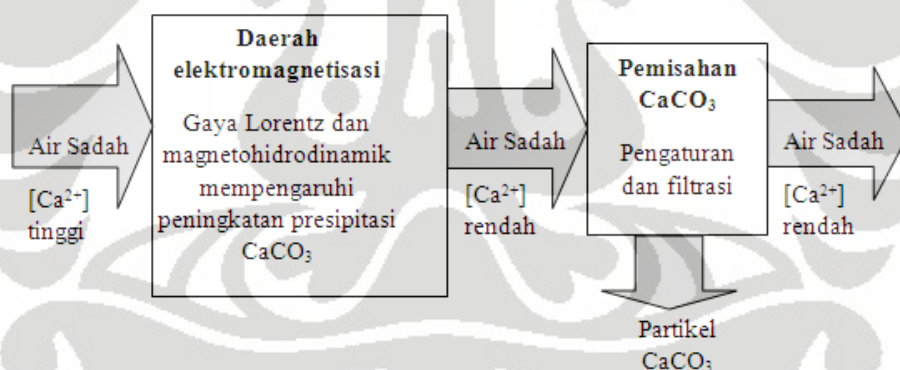
Nukleasi yang terjadi di air alami berasal dari nukleasi heterogen. Sedikit bahan asing yang akan mengurangi tegangan permukaan antara fasa padat dan cair akan mendorong nukleasi. Ion terlarut yang berpartisipasi secara konstan dalam tumbukan yang efektif dalam nukleasi dihitung secara statistik dengan faktor frekuensi yang telah dijelaskan sebelumnya. Medan elektromagnetik menghasilkan medan listrik yang berosilasi yang merubah keefektifan dari tumbukan dan meningkatkan jumlah tumbukan yang akhirnya akan menghasilkan nukleasi (Cho et al.1997).

Perubahan faktor frekuensi dapat dijelaskan dengan melemahnya ikatan hidrogen antara ion dan molekul air di sekelilingnya. Arus listrik yang berosilasi yang dihasilkan oleh medan elektromagnetik mengorientasikan penggabungan ion (baik positif maupun negatif). Bersamaan dengan meningkatnya energi kinetik dari ion yang bertumbukan, arus listrik yang berosilasi juga meningkatkan penarikan ion dengan meningkatkan momen dipolnya. Jika momen dipole

standar dari ion diganggu dengan medan elektromagnetik, ion terlarut akan memiliki energi yang berbeda dengan penyusunan *nucleus*. Seperti peningkatan laju nukleasi heterogen yang disebabkan oleh energi interfacial, perpindahan dalam momen dipole juga menghasilkan peningkatan nukleasi. Semua faktor ini meningkatkan efisiensi dari tumbukan partikel yang dihasilkan dalam jumlah besar sehingga  $\Delta G_{\text{nucleation}}$  menjadi negatif, mendorong untuk mengalami kristalisasi secara spontan. Hal ini merupakan basis dari presipitasi yang diteliti dari medan elektromagnetik.

### 2.4.3 Desain Proses Pengolahan Air dengan Medan Elektromagnetik

Nelson telah mengusulkan suatu proses *Magnetic Water Treatment* yang mampu menurunkan kesadahan dan sekaligus menekan terjadinya kerak pada air sadah yg telah diolah (Saksono 2006). Skema prosesnya dapat dilihat pada Gambar 2.9.



**Gambar 2.9** Bagan Sistem *Magnetic Water Treatment* (Saksono 2006)

Skema proses pada Gambar 2.9 juga dapat diterapkan pada proses elektromagnetik karena efek yang dihasilkan maupun tujuan proses adalah sama. Oleh sebab itu efektifitas proses elektromagnetik berdasarkan desain proses pada Gambar 2.10 akan dapat diukur melalui parameter berikut:

- Jumlah  $\text{CaCO}_3$  yang terpresipitasi sesudah proses elektromagnetik yang menunjukkan seberapa besar kesadahan air dapat ditekan.

- b. Jumlah  $\text{CaCO}_3$  yang terpresipitasi setelah proses filtrasi yang menunjukkan seberapa kuat ion-ion  $\text{Ca}$  dan  $\text{CO}_3$  yang termagnetisasi dapat menekan terbentuknya kerak  $\text{CaCO}_3$ .

#### 2.4.4 Sistem fluida dinamik

Sistem fluida dinamik yaitu kondisi dimana sampel fluida bergerak melewati medan elektromagnetik. Sistem fluida dinamik lebih banyak dilaporkan oleh para peneliti dibanding sistem fluida statik karena lebih menyerupai kondisi peralatan *Anti-scale Magnetic Treatment* yang banyak digunakan dipasaran (Gabrielli et al. 2001; Coey et al. 1999; Knez et al. 2005; Kobe et al. 2002; Fathi et al. 2006). Penjelasan yang dikembangkan dalam model ini adalah bahwa gaya Lorentz yang ditimbulkan medan magnet menyebabkan peningkatan interaksi antar ion dan partikel dalam larutan air sadah sehingga meningkatkan presipitasi  $\text{CaCO}_3$ .

### 2.5 Variabel Kondisi Operasi Yang Mempengaruhi Efektivitas Medan Elektromagnetik

Terdapat beberapa variabel kondisi operasi yang mempengaruhi efektivitas medan elektromagnetik yaitu konsentrasi, laju alir dan lama sirkulasi.

#### 2.5.1 Pengaruh konsentrasi

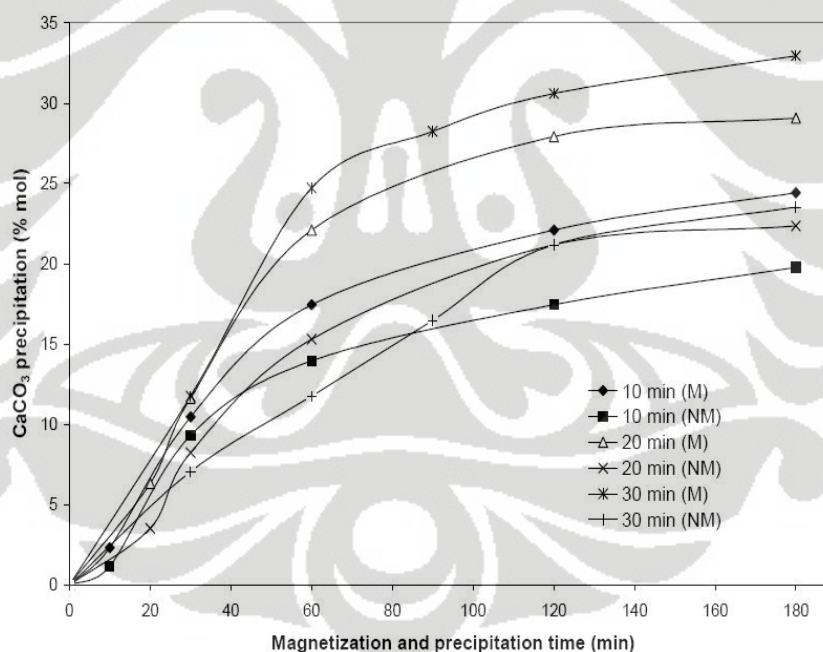
Pengaruh konsentrasi berkaitan dengan jarak antar partikel  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$ . Bila konsentrasi rendah maka energi yang dibutuhkan untuk terjadinya presipitasi  $\text{CaCO}_3$  sangat besar karena jarak antar partikelnya besar. Sedangkan pada konsentrasi tinggi, jarak antar partikelnya kecil sehingga hanya diperlukan sedikit energi untuk mendorong terjadinya presipitasi  $\text{CaCO}_3$ . Sehingga dapat dihipotesiskan bahwa semakin tinggi konsentrasi, maka energi yang dibutuhkan untuk mendorong presipitasi  $\text{CaCO}_3$  semakin kecil sehingga presipitasi lebih cepat terjadi. Magnetisasi pada larutan yang kurang jenuh tidak akan menyebabkan presipitasi  $\text{CaCO}_3$  tapi hanya akan melemahkan interaksi antara ion hidrat yang mengelilingi ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$ . Pada proses magnetisasi fluida dinamik dengan larutan jenuh terjadi penurunan kekuatan hidrat ion akibat agitasi mekanik dan



gaya Lorentz, sehingga magnetisasi tidak akan berpengaruh pada larutan dengan konsentrasi rendah dan tak jenuh (Higashitani et al. 1993). Untuk itu perlu dilakukan suatu pembuktian tentang pengaruh konsentrasi terhadap presipitasi  $\text{CaCO}_3$  dengan medan elektromagnetik. Dalam penelitian ini akan dilakukan variasi konsentrasi dari  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  bukan variasi pH larutan karena pH larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  sudah tinggi yaitu 8,9 sehingga tidak perlu divariasikan kembali.

### 2.5.3 Pengaruh Lama sirkulasi

Lama sirkulasi mempengaruhi seberapa besar presipitasi  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk. Pengaruh lama sirkulasi terhadap presipitasi  $\text{CaCO}_3$  dapat dilihat dari hasil penelitian Alimi Fathi pada Ph larutan 7 dalam kurva pada Gambar 2.10.



**Gambar 2. 3** Pengaruh Lama Sirkulasi terhadap Persen Presipitasi  $\text{CaCO}_3$  dengan Laju Alir 0,93 l/menit dengan Magnetisasi dan Non-Magnetisasi pada Waktu Presipitasi 180 Menit pada (Saksono et al. 2007).

Bila dilihat dari kurva pada Gambar 2.10 maka dapat diketahui bahwa presipitasi  $\text{CaCO}_3$  meningkat dengan meningkatnya waktu sirkulasi baik dengan

magnetisasi maupun tanpa magnetisasi (Saksono et al. 2007). Hal ini dikarenakan penambahan waktu sirkulasi ( $t_s$ ) berarti menambah waktu magnetisasi ( $t_m$ ) dan menyebabkan efek pelemahan hidrat ion juga meningkat sehingga mempercepat presipitasi  $\text{CaCO}_3$  (Saksono et al., 2008). Presipitasi  $\text{CaCO}_3$  yang dihasilkan dari magnetisasi lebih tinggi daripada tanpa magnetisasi.

Pengaruh lama sirkulasi pada presipitasi  $\text{CaCO}_3$  dengan medan elektromagnetik dihipotesiskan juga memiliki prinsip yang sama dengan magnetisasi yaitu semakin lama waktu sirkulasi maka rasio presentase total  $\text{CaCO}_3$  yang didapat akan semakin besar. Untuk itu dalam penelitian ini dilakukan variasi lama sirkulasi untuk mendapatkan lama sirkulasi yang optimal dan presipitasi  $\text{CaCO}_3$  yang besar.

### 2.5.2 Pengaruh Laju Alir

Kecepatan aliran ( $v$ ) merupakan fungsi dari laju alir ( $Q$ ) dan Luas pipa ( $A$ ) yang diformulasikan dalam persamaan (2.17).

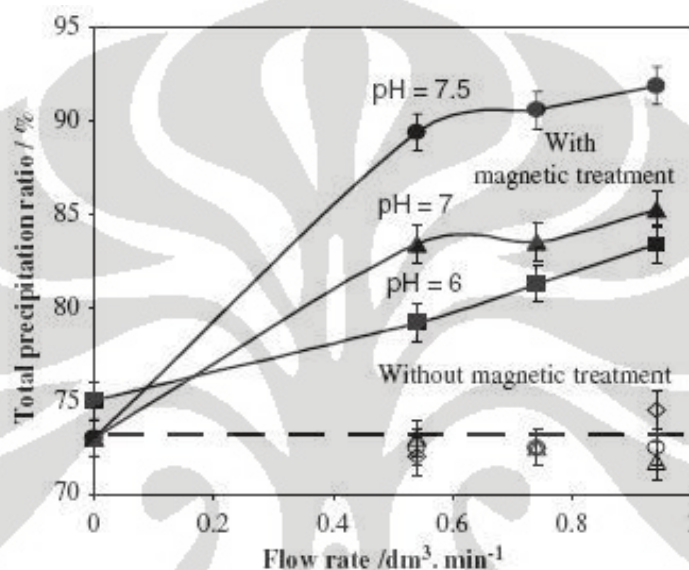
$$v = \frac{Q}{A} \quad (2.17)$$

Semakin besar laju alir ( $Q$ ), maka kecepatan aliran ( $v$ ) akan semakin besar. Gaya Lorentz yang terjadi pada ion sewaktu ion melewati medan magnet adalah fungsi dari ion/ partikel bermuatan ( $q$ ) kecepatan aliran dari ion/ partikel bermuatan ( $v$ ) dan medan magnetik ( $B$ ) seperti dalam persamaan (2.18) (Tipler 1991).

$$F = B \cdot q \cdot v \quad (2.18)$$

Busch menyatakan gaya Lorentz sebanding dengan kecepatan aliran ( $v$ ) dan medan magnetik ( $B$ ). Dengan meningkatnya laju alir, maka gaya Lorentz akan semakin besar. Gaya Lorentz yang semakin besar akan meningkatkan kekuatan tumbukan antara partikel  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  sehingga mendorong presipitasi  $\text{CaCO}_3$  terjadi lebih cepat.

Semakin besar laju alir maka rasio persentase presipitasi total yang terbentuk semakin besar. Rasio persentase presipitasi adalah perbandingan antara presipitasi magnetisasi dibandingkan dengan tanpa magnetisasi. Alimi fathi telah membuktikan hal tersebut dengan magnetisasi dan tanpa magnetisasi dengan variasi laju alir  $0 \text{ dm}^3/\text{min} - 0.94 \text{ dm}^3/\text{min}$  dan pH 6 – 7.5 (Fathi et al. 2006).



**Gambar 2.4** Pengaruh Laju Alir dan pH terhadap Rasio Presentase Presipitasi  $\text{CaCO}_3$  Total untuk Waktu Presipitasi 90 Menit dan Konsentrasi  $\text{Ca}^{2+}$  Mula-mula 200 ppm (Fathi et al. 2006).

Dari kurva Gambar 2.11 pada Ph 7.5, didapatkan rasio presipitasi total 7 – 22% dengan laju alir  $0.54 \text{ dm}^3/\text{min}$ , dan presentase presipitasi terus meningkat pada laju alir  $0.94 \text{ dm}^3/\text{min}$ , didapatkan rasio presentase presipitasi  $\text{CaCO}_3$  26%. Pengaruh laju alir pada presipitasi  $\text{CaCO}_3$  dengan medan eletromagnetik memiliki prinsip dasar yang hampir sama dengan magnetisasi. Untuk membuktikan pengaruh laju alir pada presipitasi  $\text{CaCO}_3$  dengan medan elektromagnetik, dilakukan variasi laju alir.

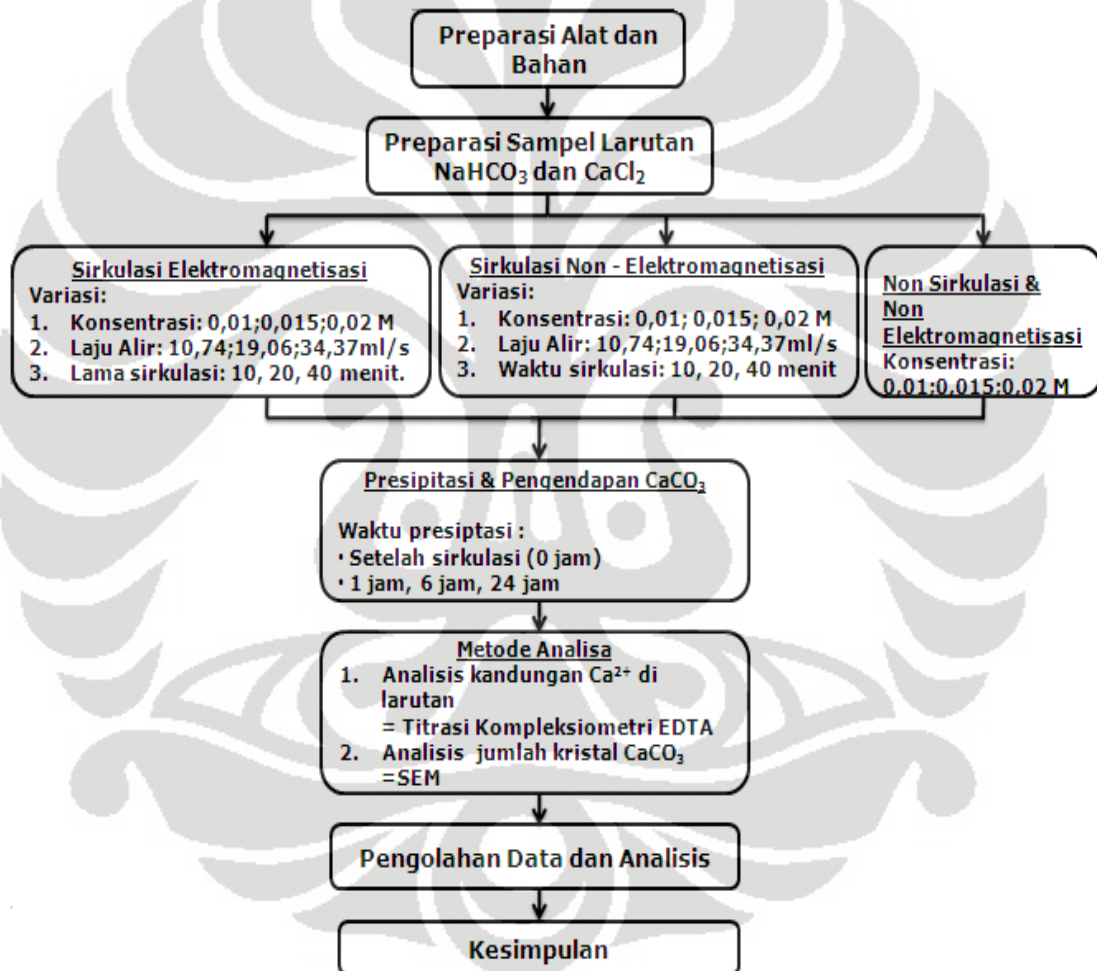


## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Diagram Alir Penelitian

Untuk melaksanakan penelitian ini diperlukan diagram alir penelitian agar berlangsung secara sistematis. Diagram alir untuk keseluruhan tahapan penelitian ini dapat dilihat dalam Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

Kegiatan utama dalam riset ini, pada dasarnya akan di bagi kedalam 6 tahap kegiatan, sebagai berikut :

1. Pemasangan dan pengaturan alat pengolahan air dengan medan elektromagnetik seperti yang terlihat pada Gambar 3.1.
2. Preparasi larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  sebagai sampel air sadah dengan melarutkan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  dalam air demin hingga mencapai konsentrasi 0,01 M, 0,015 M dan 0,02 M.
3. Elektromagnetisasi air sadah dengan metode sirkulasi fluida dinamik dimana air sadah dilewatkan pada medan elektromagnetik dengan frekwensi osilasi 500 Hz dan disirkulasi. Skema proses dapat dilihat pada Gambar 3.3. Pada tahap ini akan dilakukan analisis kandungan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dilarutan selama proses elektromagnetisasi. Variasi kondisi operasi yang meliputi : laju alir, lama sirkulasi, dan konsentrasi akan dilakukan guna mendapatkan kondisi efektif proses.
4. Presipitasi dan pengendapan  $\text{CaCO}_3$ . Pada tahap ini proses presipitasi  $\text{CaCO}_3$  dari sampel air sadah yang telah dielektromagnetikisasi akan diamati dalam tabung reaksi dan akan dilakukan pengamatan : kandungan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dalam air sadah dan pembentukan  $\text{CaCO}_3$  dalam larutan. Pengamatan akan dilakukan sebagai fungsi waktu pengendapan / presipitasi guna mendapatkan waktu presipitasi yang optimal. Pada tahap ini diharapkan akan terjadi peningkatan laju presipitasi  $\text{CaCO}_3$  sehingga kandungan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dilarutan menurun (kesadahan menurun). Pengamatan yang akan dilakukan meliputi : kandungan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dalam air sadah dan pembentukan deposit  $\text{CaCO}_3$ .
5. Metode analisa yang digunakan adalah Titrasi Kompleksimetri EDTA untuk menganalisis kandungan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan SEM untuk mengamati morfologi  $\text{CaCO}_3$ .
6. Setelah mendapatkan data hasil percobaan, maka dilakukan pengolahan data dan analisa.
7. Dari pengolahan data didapatkan kesimpulan mengenai penelitian ini. Pengukuran tanpa medan elektromagnetik dan tanpa *treatment* sirkulasi dan

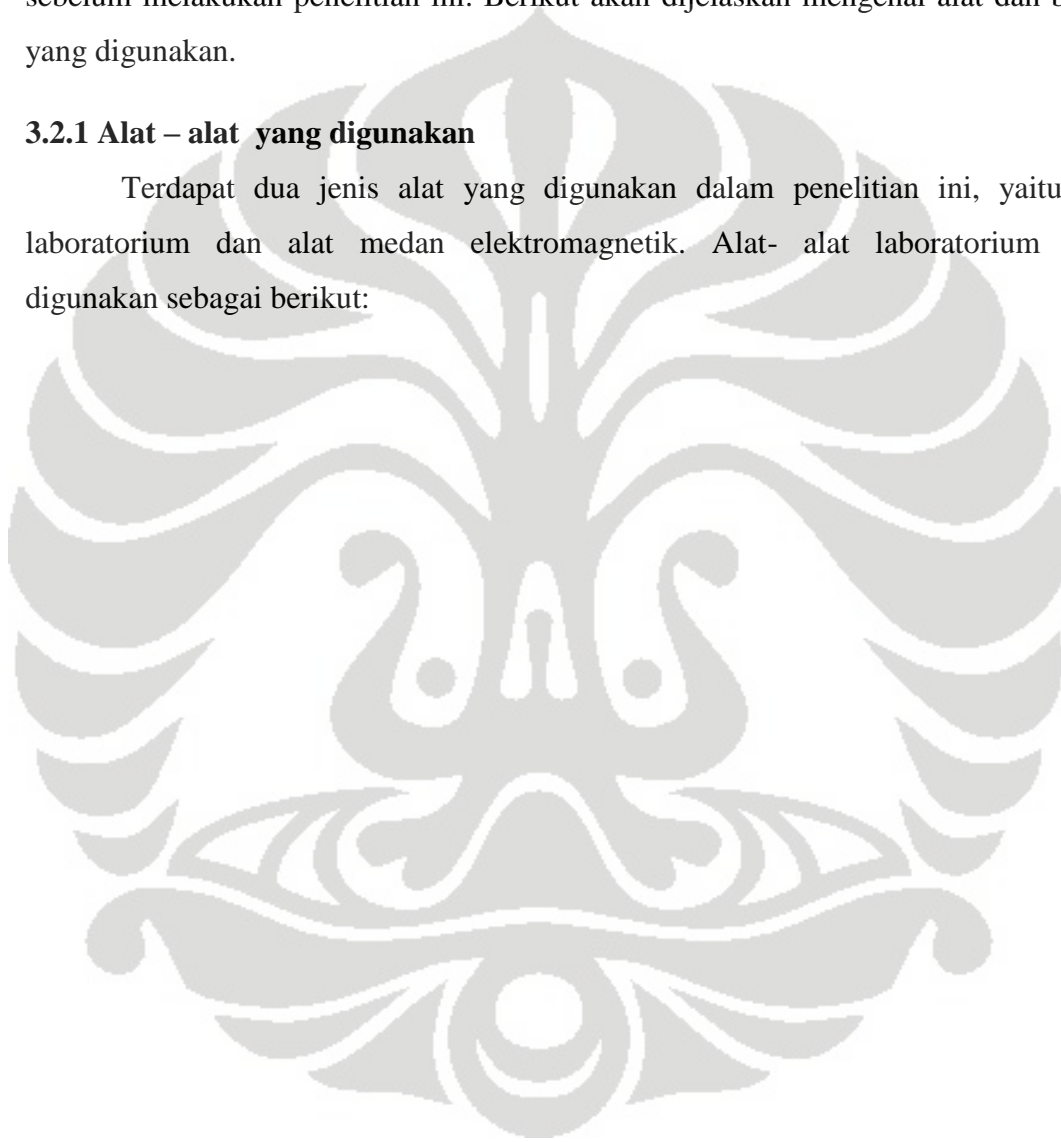
elektromagnetik juga akan dilakukan sebagai pembandingan dalam melihat efektivitas proses ini.

### **3.2 Preparasi Alat Dan Bahan**

Preparasi alat dan bahan merupakan hal terpenting yang harus dilakukan sebelum melakukan penelitian ini. Berikut akan dijelaskan mengenai alat dan bahan yang digunakan.

#### **3.2.1 Alat – alat yang digunakan**

Terdapat dua jenis alat yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu alat laboratorium dan alat medan elektromagnetik. Alat- alat laboratorium yang digunakan sebagai berikut:



1. Pipet volum 10 ml dan 20 ml
2. Pipet Tetes
3. Beaker Glass 250 ml
4. Labu Erlenmeyer 100 ml
5. Buret 10 ml
6. Statif
7. Spatula
8. Kaca Arloji
9. Labu Ukur 50 ml dan 1 liter
10. Tabung Reaksi
11. Kaca Preparat
12. Plastik Wrap
13. Ph Meter Digital
14. Timbangan
15. Stop Watch



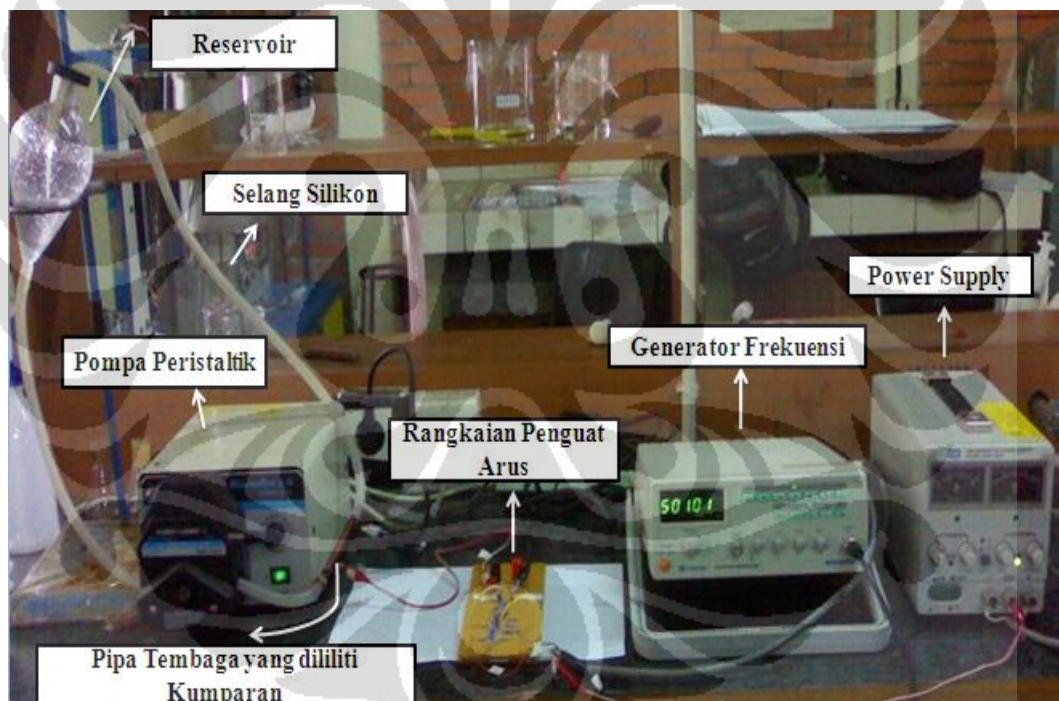


Alat - alat medan elektromagnetik yang digunakan terdiri dari pipa tembaga yang dililiti solenoida seperti pada Gambar 3.2 .



**Gambar 3. 2** Pipa Tembaga dengan 120 Lilitan Solenoida

Pipa tembaga pada Gambar 3.2 dihubungkan dengan selang silikon dan rangkaian penguat arus. Untuk lebih jelasnya, skema peralatan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.2.



**Gambar 3. 3** Skema Alat Pengolahan Air dengan Medan Elektromagnetik

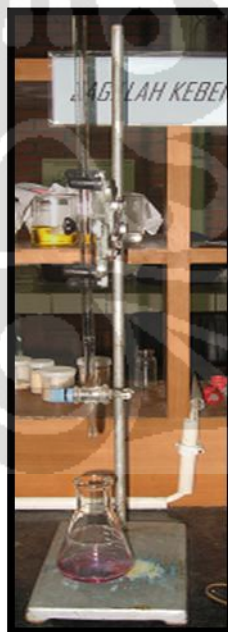
Alat – alat pada Gambar 3.2 di atur dengan spesifikasi seperti pada Tabel 3.1

**Tabel 3. 1** Spesifikasi Alat Medan Elektromagnetik

<b>Frekuensi</b>	500 Hz
<b>Tegangan</b>	12 Volt
<b>Arus</b>	0,8 mA
<b>Panjang Pipa Tembaga</b>	137,5 mm
<b>Jumlah Lilitan</b>	120 lilitan
<b>Panjang Lilitan</b>	75 mm
<b>Induktansi</b>	9,8 Mh
<b>Kuat Medan</b>	0, 016 Gauss
<b>Hambatan</b>	0,3 Ohm

### 3.2.2 Instrumen Analisis

1. Titrasi kompleksometri EDTA untuk mengukur kandungan ion  $\text{Ca}^{2+}$  di larutan dengan larutan penitar EDTA 0,1 M menggunakan mikroburet (akurasi 0.02 ml EDTA). Standarisasi larutan EDTA dilakukan dengan larutan standar  $\text{CaCO}_3$ .



**Gambar 3. 4** Alat Titrasi Kompleksiometri EDTA

2. Kaca preparat sebagai media deposit kerak  $\text{CaCO}_3$  akan digunakan untuk menganalisis struktur kristal deposit menggunakan SEM
3. SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk melihat bentuk partikel  $\text{CaCO}_3$ .



Gambar 3. 5 Alat *Scanning Electron Microscope* (SEM)

### 3.2.3 Bahan- bahan yang digunakan

1. Natrium bikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ) 0,01 M, 0,015 M, 0,02 M dan Kalsium Klorida ( $\text{CaCl}_2$ ) 0,01 M, 0,015 M, 0,02 M
2. Air demineralisasi
3. Air aquades
4. Larutan titran EDTA 0,1 M
5. Larutan buffer pH 10
6. Larutan indicator EBT 0,5 %
7. Larutan HCL 0,1 M
8. Larutan Titran NaOH

### 3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian terdiri dari preparasi sampel dan analisis sampel. Preparasi sampel terdiri atas pembuatan natrium bikarbonat dan kalsium klorida masing-masing 0,01 M, 0,015 M dan 0,02 M serta pembuatan bahan-bahan

lainnya seperti larutan EDTA 0,01 M, indikator EBT 0,5%, larutan standar  $\text{CaCO}_3$  0,01 M, larutan HCl 0,1 M, dan buffer pH 10.

Prosedur analisis akan terdiri dari penentuan kandungan  $\text{Ca}^{2+}$  (elektromagnetisasi dan non-elektromagnetisasi) di larutan pada variasi konsentrasi, laju alir dan lama sirkulasi. Berikut ini adalah penjelasan secara terperinci dari prosedur penelitian yang dilakukan.

### **3.3.1 Prosedur Pembuatan Larutan Natrium Bikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ) 0,01 M**

1. Menimbang 0,84 g padatan Natrium Bikarbonat
2. Melarutkan padatan dengan menggunakan air demin 60 ml pada *beaker glass* 250 ml hingga homogen.
3. Memindahkan larutan secara kuantitatif ke dalam labu takar 1000 ml, lakukan pembilasan dengan air demin.
4. Menambahkan air demin sampai tanda batas.

### **3.3.2 Prosedur Pembuatan Larutan Natrium Bikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ) 0,015 M**

1. Menimbang 1,26 g padatan natrium bikarbonat
2. Melarutkan padatan dengan menggunakan air demin 60 ml pada gelas piala 250 ml hingga homogen.
3. Memindahkan larutan secara kuantitatif ke dalam labu takar 1000 ml, lakukan pembilasan dengan air demin.
4. Menambahkan air demin sampai tanda batas.

### **3.3.3 Prosedur Pembuatan Larutan Natrium Bikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ) 0,02 M**

1. Menimbang 1,68 g padatan natrium bikarbonat
2. Melarutkan padatan dengan menggunakan air demin 60 ml pada gelas piala 250 ml hingga homogen.
3. Memindahkan larutan secara kuantitatif ke dalam labu takar 1000 ml, lakukan pembilasan dengan air demin.
4. Menambahkan air demin sampai tanda batas.

### **3.3.4 Pembuatan Larutan Kalsium Klorida ( $\text{CaCl}_2$ ) 0,01 M**

1. Menimbang 1,47 g padatan kalsium klorida

2. Melarutkan padatan dengan menggunakan air demin 60 ml pada gelas piala 250 ml hingga homogen.
3. Memindahkan larutan secara kuantitatif ke dalam labu takar 1000 ml, lakukan pembilasan dengan air demin.
4. Memindahkan air demin sampai tanda batas.

### **3.3.5 Pembuatan Larutan Kalsium Klorida ( $\text{CaCl}_2$ ) 0,015 M**

1. Menimbang 2,205 g padatan kalsium klorida
2. Melarutkan padatan dengan menggunakan air demin 60 ml pada gelas piala 250 ml hingga homogen.
3. Memindahkan larutan secara kuantitatif ke dalam labu takar 1000 ml, lakukan pembilasan dengan air demin.
4. Memindahkan air demin sampai tanda batas.

### **3.3.6 Pembuatan Larutan Kalsium Klorida ( $\text{CaCl}_2$ ) 0,02 M**

1. Menimbang 2,94 g padatan kalsium klorida
2. Melarutkan padatan dengan menggunakan air demin 60 ml pada gelas piala 250 ml hingga homogen.
3. Memindahkan larutan secara kuantitatif ke dalam labu takar 1000 ml, lakukan pembilasan dengan air demin.
4. Memindahkan air demin sampai tanda batas.

### **3.3.7 Pembuatan Larutan EDTA 0,01 M**

1. Menimbang kristal titripleks III ( $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{Na}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) 4,000 g.
2. Melarutkan dengan air demin hingga homogen.
3. Memindahkan larutan ke dalam labu takar 1000 ml, kemudian ditambahkan air demin sampai tanda batas.

### **3.3.8 Pembuatan Larutan HCl 0,1 M**

1. Memipet 5 mL larutan HCl pekat ke dalam labu takar 500 mL yang sudah berisi air demin.
2. Menambahkan air demin sampai batas tera pada labu takar.
3. Menambahkan air demin sampai tanda batas.

### 3.3.9 Pembuatan Larutan Buffer pH 10

1. Menimbang 0,616 gram  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .
2. Menimbang 0,930 gram Tritron B atau Titriplex III.
3. Menyampurkan keduanya ke dalam gelas ukur dan dilarutkan dengan 25 mL aquades.
4. Menimbang 67,500 gram  $\text{NH}_4\text{Cl}$  dan larutkan dengan 100 mL aquades.
5. Menyampurkan kedua larutan dalam labu takar 1 liter dan menambahkan 798 ml amonia 25%, lalu ditera dengan air demin sampai tanda batas tera kemudian dikocok agar homogen.

### 3.3.10 Pembuatan Larutan Indikator Erio Black-T (EBT) 0,5%

1. Menimbang 4,500 gram Hydroxilamin-HCl.
2. Menimbang 0,500 gram Erio Black-T.
3. Mencampurkan keduanya dan larutkan dengan etanol dalam labu takar 100 mL, kemudian ditera sampai tanda batas tera. Mengocok hingga homogen.

### 3.3.11 Pembuatan Larutan Standar $\text{CaCO}_3$ 0,01 M

1. Menimbang 0,500 gram  $\text{CaCO}_3$  murni (yang sudah dioven selama  $\pm 1$  jam pada suhu  $105^\circ\text{C}$ ).
2. Menambahkan HCl pekat tetes demi tetes sampai  $\text{CaCO}_3$  larut sempurna.
3. Menambahkan air demin 100 mL, panaskan hingga mendidih.
4. Memasukkan ke labu takar 1 liter dan bilas dengan air demin.
5. Menambahkan NaOH 0,1 N untuk menetralkan hingga pH 7-8 dengan menggunakan indikator *phenolftalein* (perubahan warna: tidak berwarna menjadi merah muda).
6. Menambahkan air demin sampai tanda batas.

### 3.3.12 Prosedur Penentuan Laju Alir

1. Memasukkan air aquades sebanyak 1 liter ke dalam container.
2. Mengatur skala pompa peristaltik (1 hingga 10)
3. Menyalakan pompa peristaltik dan tekan stopwatch ( $t_0$ )
4. Membuang air melalui pipa silikon
5. Mematikan pompa peristaltic dan tekan stopwatch ( $t_1$ ) ketika air habis.

Keterangan: Laju alir = 1 liter/ ( $t_1 - t_0$ )

### 3.3.13 Prosedur Pencucian Alat Elektromagnetik sistem dinamis

1. Menuang sebanyak 500 ml HCL 0.1 M ke dalam reservoir
2. Mensirkulasikan dengan laju alir 19,06 ml/detik selama 30 menit
3. Membuang HCL hasil pembersihan
4. Mengganti larutan dengan air aquades dan sirkulasi kembali dengan laju alir 19,06 ml/detik selama 10 menit.
5. Membuang air aquades.

### 3.3.14 Prosedur uji pengaruh medan elektromagnetik pada saat sirkulasi

1. Mengatur alat elektromagnetisasi dengan spesifikasi berikut:

Jumlah lilitan kumparan	:	120 lilitan
Frekuensi	:	500 Hz
Tegangan	:	12 Volt
Laju Alir	:	19,06 ml/detik
Waktu Sirkulasi	:	10 menit

2. Menyampurkan sampel larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$ .
3. Menuang larutan sampel ke dalam reservoir.
4. Menyalakan pompa peristaltik dan menekan stopwatch.
5. Pada menit ke 10 pompa peristaltik dihentikan, kemudian dilakukan pengambilan sampel sebanyak 10 ml, dan setelah selesai pengambilan sampel maka pompa dinyalakan kembali (lakukan hal yang sama pada menit ke 20 dan 40).
6. Setelah menit ke-40 pompa dimatikan, dan lakukan pencucian alat.

### 3.4 Prosedur Pengujian Dengan Variasi Variabel Kondisi Operasi: Konsentrasi, Laju Alir Dan Lama Sirkulasi

Untuk menguji pengaruh dari variabel operasi seperti konsentrasi, laju alir dan lama sirkulasi maka dilakukan prosedur pengujian dengan variasi variabel kondisi operasi sebagai berikut.

### 3.4.1 Variasi Konsentrasi

1. Mengatur alat dengan spesifikasi berikut:

Jumlah lilitan kumparan	:	120 lilitan
Frekuensi	:	500 Hz
Tegangan	:	12 Volt
Laju Alir	:	19,06 ml/detik
Waktu Sirkulasi	:	10 menit

2. Mencampurkan 50 mL larutan natrium bikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ) 0,01 M dan 50 ml larutan Kalsium klorida 0,01M.
3. Mengukur pH awal larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$ .
4. Menuang larutan sampel sebanyak 100 ml ke dalam reservoir.
5. Sebelum disirkulasi, pipet 10 ml larutan sampel dan titrasi EDTA
6. Menyalakan pompa peristaltik dan mensirkulasikan selama 10 menit.
7. Setelah sirkulasi selesai maka larutan sampel ditempatkan pada beaker glass 250 ml.
8. Pipet 10 ml larutan sampel dan titrasi EDTA.
9. Pipet kembali 10 ml sebanyak 3 kali dan masukkan pada 3 tabung reaksi.
10. Setelah 1 jam maka salah satu larutan yang ada di tabung reaksi dititrasi dengan EDTA. Melakukan hal yang sama pada waktu presipitasi 6 jam dan 24 jam .
11. Diulangi prosedur yang sama untuk variasi konsentrasi larutan: 0,015M dan 0,02M. Untuk sampel non-elektromagnetisasi, dilakukan prosedur yang sama tapi larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  dengan konsentrasi 0,01 M, 0,015 M dan 0,02 M tidak dielektromagnetisasi namun hanya disirkulasi.

### 3.4.2 Variasi Laju Alir

1. Mengatur alat dengan spesifikasi berikut:

Jumlah lilitan kumparan	:	120 lilitan
Frekuensi	:	500 Hz
Tegangan	:	12 Volt
Konsentrasi	:	0,01 M
Waktu Sirkulasi	:	10 menit



2. Mencampurkan 50 ml larutan natrium bikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ) 0,01 M dan 50 ml larutan Kalsium Klorida 0,01 M.
3. Mengukur Ph larutan sampel awal.
4. Menuang larutan sampel sebanyak 100 ml ke dalam reservoir.
5. Sebelum disirkulasi, pipet 10 ml larutan sampel dan dititrasi EDTA.
6. Menyalakan pompa peristaltik dengan laju alir 10,74 ml/detik dan mensirkulasikan 10 menit.
7. Setelah sirkulasi selesai maka larutan sampel ditempatkan pada beaker glass 250 ml dan mengukur Ph larutan sampel.
8. Pipet 10 ml larutan sampel dan titrasi EDTA.
9. Pipet kembali 10 ml sebanyak 3 kali dan masukkan pada 3 tabung reaksi.
10. Setelah 1 jam maka salah satu larutan yang ada di tabung reaksi dititrasi dengan EDTA. Melakukan hal yang sama pada waktu presipitasi 6 jam dan 24 jam .
11. Melakukan prosedur yang sama pada tiap variasi laju alir 19,06 ml/detik dan 34,37 ml/detik.
12. Untuk sampel non-elektromagnetisasi, dilakukan prosedur yang sama tapi larutan natrium bikarbonat 0,01 M tidak dielektromagnetisasi namun hanya disirkulasi.

### 3.4.3 Variasi lama sirkulasi

1. Mengatur alat dengan spesifikasi berikut:
 

Jumlah lilitan kumparan	:	120 lilitan
Frekuensi	:	500 Hz
Tegangan	:	12 Volt
Konsentrasi	:	0,01 M
Laju alir	:	19,06 ml/detik
2. Mencampurkan 50 ml larutan natrium bikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ) 0,01 M dan 50 ml larutan Kalsium Klorida 0,01 M.
3. Mengukur pH larutan sampel awal.
4. Menuang larutan sampel sebanyak 100 ml ke dalam reservoir.
5. Sebelum disirkulasi pipet 10 ml larutan sampel dan titrasi EDTA

6. Menyalakan pompa peristaltik dan mensirkulasikan dengan variasi waktu 10, 20, 40 menit.
7. Setelah sirkulasi selesai maka larutan sampel ditempatkan pada beaker glass 250 ml dan mengukur Ph larutan sampel.
8. Pipet 10 ml larutan sampel dan titrasi EDTA.
9. Pipet kembali 10 ml sebanyak 3 kali dan masukkan pada 3 tabung reaksi.
10. Setelah 1 jam maka salah satu larutan yang ada di tabung reaksi dititrasi dengan EDTA. Melakukan hal yang sama pada waktu presipitasi 6 jam dan 24 jam .
11. Untuk sampel non-elektromagnetisasi, dilakukan prosedur yang sama tapi larutan natrium bikarbonat 0,01 M tidak dielektromagnetisasi namun hanya disirkulasi.

### **3.5 Prosedur Analisis**

Prosedur saat melakukan analisis dengan metode-metode yang digunakan dalam penelitian ini akan di jelaskan sebagai berikut.

#### **3.5.1 Analisis Presipitasi $\text{CaCO}_3$ Dengan Titrasi Kompleksometri EDTA**

Dalam metode ini, larutan EDTA 0,1 M harus distandarisasi untuk mengetahui konsentrasi dari EDTA saat akan digunakan untuk pengukuran sampel larutan percobaan. Prosedur standarisasi dan analisa sampel dilakukan sebagai berikut

##### **3.5.1.1 Standarisasi Larutan EDTA**

1. Memipet 10 mL larutan  $\text{CaCO}_3$  ke dalam erlenmeyer 100 mL.
2. Menambahkan 3 tetes indikator EBT
3. Menambahkan 1 mL larutan buffer pH 10.
4. Menitrasi dengan titran EDTA 0,1 M.
5. Standarisasi dilakukan seminggu sekali.

##### **3.5.1.2 Analisis Sampel Larutan**

1. Menuang 10 mL larutan sampel ke dalam Erlenmeyer 100 mL.
2. Menambahkan 3 tetes indikator EBT dan 1 mL larutan buffer pH 10 sehingga larutan menjadi berwarna merah violet / keunguan.

3. Mencatat volume awal titran EDTA 0,1 M di buret, lalu titrasi perlahan-lahan sampai di peroleh perubahan warna larutan menjadi biru kemudian titrasi dihentikan.
4. Mencatat volume akhir titrasi (volume larutan EDTA).
5. Prosedur ini dilakukan pada sampel elektromagnetisasi maupun non-elektromagnetisasi.

### 3.5.2 Pengukuran pH larutan

1. Menyiapkan larutan yang ingin di ukur pH-nya.
2. pH meter yang digunakan untuk pengukuran harus terkalibrasi terlebih dahulu.
3. pH-meter dihidupkan, kemudian elektrodanya dicelupkan ke dalam larutan. Ditunggu sampai nilai pH yang keluar stabil.
4. Mencatat nilai pH yang telah stabil.

### 3.5.3 Uji Foto Mikroskopik Dengan SEM

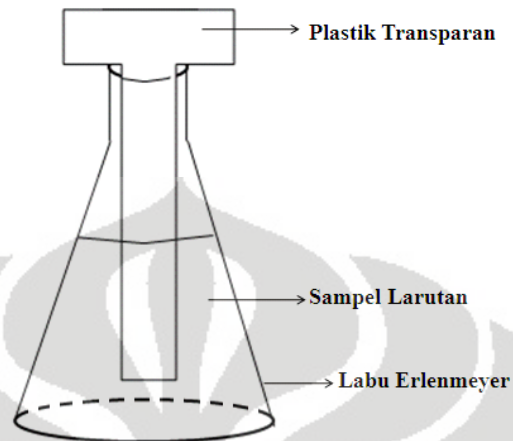
Uji foto mikroskopik dengan SEM dilakukan sebanyak lima kali. Uji yang pertama dilakukan untuk melihat perbedaan hasil foto antara sampel elektromagnetisasi dan non elektromagnetisasi. Kemudian Uji SEM berikutnya adalah untuk melihat pengaruh konsentrasi, lama sirkulasi dan laju alir dengan dua jenis data yang berbeda. Berikut merupakan contoh salam satu prosedur pengujian SEM.

#### 3.5.3.1 Prosedur uji Kristal $\text{CaCO}_3$ dengan SEM

1. Mengatur alat dengan spesifikasi berikut:

Jumlah lilitan kumparan	:	120 lilitan
Frekuensi	:	500 Hz
Tegangan	:	12 Volt
Laju Alir	:	34,37 ml/s
Waktu Sirkulasi	:	10 menit
2. Mencampurkan 50 ml larutan natrium bikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ) 0,02 M dan 50 ml larutan Kalsium Klorida 0,02 M.
3. Menuang larutan sampel sebanyak 100 ml ke dalam reservoir.
4. Menyalakan pompa peristaltik dan mensirkulasikan 10 menit.

- Setelah sirkulasi, lembaran plastik transparan dicelupkan ke dalam larutan dan dibiarkan mengendap selama 24 jam seperti pada Gambar 3.6.

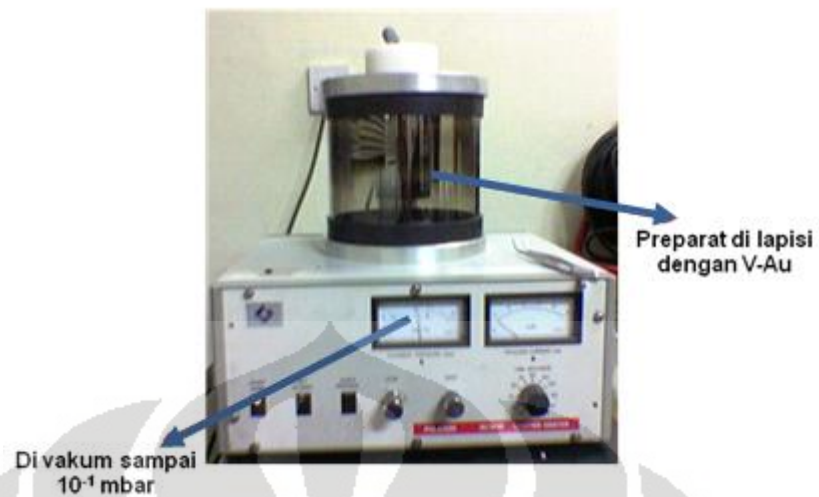


**Gambar 3.6** SkemaPreparasi SEM dengan Waktu Pengendapan 24 Jam

- Setelah 24 jam, maka lembaran plastik transparan tersebut diangkat dan dikeringkan di dalam desikator selama 24 jam. Setelah kering, lembaran plastik transparan dipotong ujungnya kemudian ditempel pada kaca preparat dan siap diuji SEM.
- Setelah plat kaca itu kering, maka plat tersebut di foto dengan foto mikroskop (SEM).
- Prosedur yang sama dilakukan untuk non- elektromagnetisasi.

### 3.5.3.2 Uji SEM

- Kaca preparat yang siap untuk di foto, terlebih dahulu di lapsi dengan VAu (Vanadium-Aurum), pelapisan dilakukan dengan menggunakan alat *Vacuum Rubber Seal* .
- Kaca preparat divakum dengan alat *Vacuum Rubber Seal* pada Gambar 3.7 sampai mencapai tekanan 10 Pa atau  $10^{-1}$  mbar.



**Gambar 3.7.** *Vacuum Rubber Seal*

3. Kaca preparat tersebut divakumkan kembali di alat SEM selama 30 menit.
4. Setelah semuanya selesai, sampel deposit pada kaca preparat siap untuk di foto dengan mengambil beberapa perbesaran dan posisi.



## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

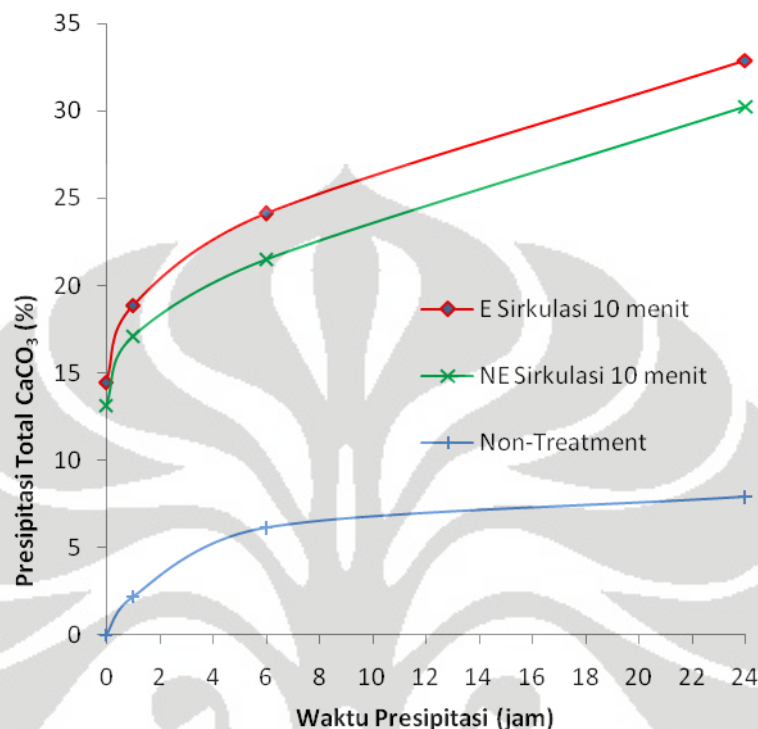
Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil- hasil pengujian yang diperoleh pada saat penelitian dan analisisnya. Keterangan lain seperti data, perhitungan, dan pengolahan data ada pada lampiran. Hasil- hasil pengujian tersebut antara lain pengaruh sirkulasi dan elektromagnetisasi sirkulasi terhadap presipitasi  $\text{CaCO}_3$ , pengaruh variabel kondisi operasi dari hasil Titrasi, serta pengaruh variabel kondisi operasi dan morfologi populasi partikel  $\text{CaCO}_3$  dari hasil SEM untuk sampel elektromagnetisasi dan non-elektromagnetisasi.

#### 4.1 Pengaruh Sirkulasi dan Elektromagnetisasi Sirkulasi terhadap Presipitasi $\text{CaCO}_3$

Sebelum melihat pengaruh medan elektromagnetik yang disertai dengan variasi variabel kondisi operasi dan sirkulasi terhadap presipitasi  $\text{CaCO}_3$  maka perlu diketahui mengenai efek dari sirkulasi dan medan elektromagnetik itu sendiri. Untuk melihat perbedaan pengaruh dari setiap perlakuan tersebut terhadap presipitasi  $\text{CaCO}_3$ , dilakukan perbandingan antara sampel yang tidak diberi perlakuan apapun (*non-treatment*), sampel yang hanya disirkulasi dan sampel yang disirkulasi dan juga dielektromagnetisasi. Ketiga sampel tersebut merupakan campuran 50 ml  $\text{NaHCO}_3$  dan 50 ml  $\text{CaCl}_2$  dengan konsentrasi 0,01 M. Sirkulasi pada kedua sampel dilakukan selama 10 menit dengan laju alir 19,06 ml/s. Ketiga sampel diendapkan selama 24 jam, namun tiap 0 jam, 1 jam, 6 jam dan 24 jam dilakukan titrasi kompleksimetri EDTA.

Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan presipitasi total. Presipitasi total dapat diartikan sebagai presipitasi  $\text{CaCO}_3$  yang terjadi baik pada fasa larutan maupun deposit di dalam suatu larutan campuran  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$ . Untuk melihat presipitasi total yang terbentuk, maka analisis kandungan  $\text{Ca}^{2+}$  dilakukan pada larutan. Persentase presipitasi  $\text{CaCO}_3$  total dapat ditentukan dengan mengurangi data hasil analisis  $\text{Ca}^{2+}$  pada waktu presipitasi (setelah sirkulasi atau 0 jam, 1 jam, 6 jam dan 24 jam) dengan data hasil analisis sebelum sirkulasi dan

elektromagnetisasi belum terjadi. Gambar 4.1 menunjukkan perbedaan dari setiap perlakuan terhadap persen presipitasi total  $\text{CaCO}_3$ .



**Gambar 4. 1** Perbandingan Pengaruh antara Sampel Sirkulasi (NE Sirkulasi 10 menit), Sampel Elektromagnet Sirkulasi (E Sirkulasi 10 menit) dan Sampel Fluida Statis (Non-Treatment) Terhadap Presipitasi  $\text{CaCO}_3$ .

Pada Gambar 4.1 terlihat bahwa sirkulasi sangat efektif dalam mempercepat presipitasi  $\text{CaCO}_3$ . Pada 1 jam presipitasi sampel *non-treatment* memiliki persen presipitasi sebesar 2,2 %, sampel non-elektromagnetisasi sirkulasi memiliki persen presipitasi sebesar 17,9 % dan sampel elektromagnetisasi memiliki persen presipitasi terbesar yaitu 18,9 %. Berdasarkan data tersebut, diketahui bahwa sirkulasi memberikan pengaruh yang sangat signifikan karena persen kenaikan presipitasi relatifnya terhadap sampel *non-treatment* sebesar 713,6 %. Hal ini dikarenakan dalam penelitian ini dilakukan sirkulasi menggunakan pompa peristaltik berupa pengadukan dan pemompaan yang menyebabkan terganggunya hidrat ion menjadi lebih lemah sehingga meningkatkan interaksi / tumbukan antara ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  yang pada akhirnya akan mempercepat terbentuknya inti  $\text{CaCO}_3$ .



Persen kenaikan presipitasi relatif antara sampel elektromagnetisasi fluida dinamik yang juga disirkulasi terhadap sampel yang tidak diberi perlakuan apapun (*non-treatment*) sebesar 759,1 %. Hal ini berarti bahwa efek medan elektromagnetik tidak sebesar efek sirkulasi dalam meningkatkan presipitasi  $\text{CaCO}_3$  karena perbedaan persen kenaikan presipitasi relatif dengan sampel *non-treatment* antara keduanya kurang signifikan yaitu sebesar 45,5%. Fenomena tersebut dapat dijelaskan dengan teori berikut, medan elektromagnetik menghasilkan getaran tertentu yang menciptakan variasi waktu magnetik. Variasi waktu magnetik ini menciptakan induksi listrik yang sesuai dengan Hukum Faraday. Induksi listrik yang beresilasi selama selang waktu tertentu akan menyebabkan agitasi molekular untuk mendorong ion mineral yaitu ion kalsium dan bikarbonat untuk saling berdekatan dan berinteraksi lebih kuat sehingga ion – ion tersebut lebih cepat bertumbukan dan berpresipitasi (Cho et al. 1997). Pada penelitian ini elektromagnetisasi dilakukan pada fluida dinamis yaitu sampel larutan yang bergerak. Fluida yang bergerak memiliki aliran dengan kecepatan alir tertentu. Medan elektromagnetik yang diberikan pada fluida yang bergerak dan mengandung ion- ion bermuatan akan menghasilkan gaya lorentz yang dapat menyebabkan terjadinya pergeseran ion bermuatan yang dapat berkontribusi pada meningkatnya interaksi antar ion-ion dan partikel dalam larutan air sadah sehingga meningkatkan presipitasi  $\text{CaCO}_3$ .

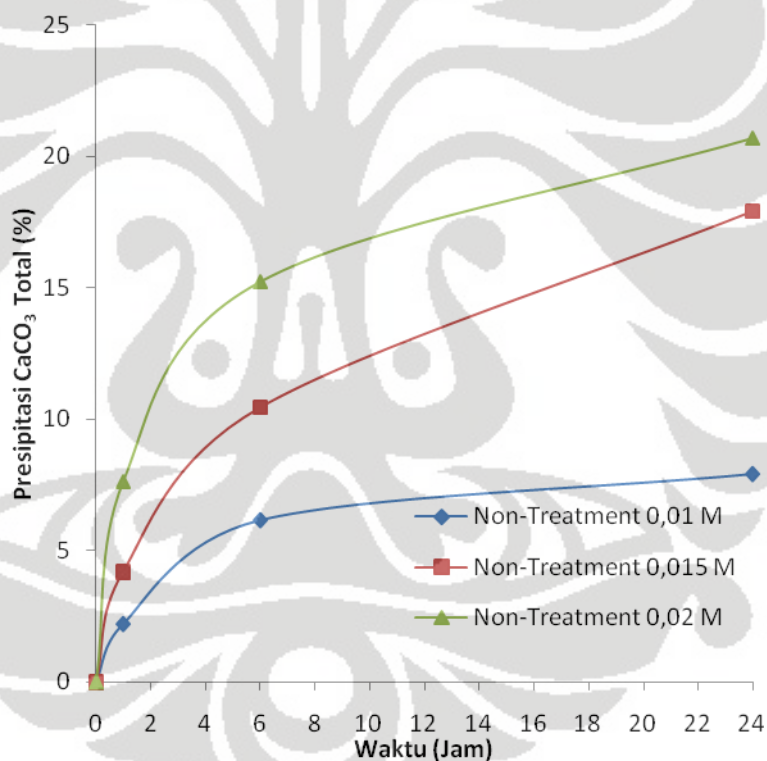
Jadi sirkulasi yang disertai dengan elektromagnetisasi pada fluida dinamik memberikan dua peran penting yang saling melengkapi dalam presipitasi  $\text{CaCO}_3$  yaitu pelemahan hidrat dan penguatan interaksi ion  $\text{Ca}^{2+}$  sehingga presipitasi  $\text{CaCO}_3$  terbentuk lebih cepat.

#### **4.2 Pengaruh Variabel Kondisi Operasi Terhadap Presipitasi $\text{CaCO}_3$ dan Efektivitas Medan Elektromagnetik**

Pada subbab ini, akan di bahas mengenai efek medan elektromagnetik terhadap presipitasi  $\text{CaCO}_3$  dengan variasi konsentrasi, variasi lama sirkulasi dan variasi laju alir.

#### 4.2.1 Variasi Konsentrasi

Sebelum meninjau mengenai pengaruh medan elektromagnetik yang disertai dengan variasi konsentrasi, maka dilakukan perbandingan sampel dengan konsentrasi yang berbeda (0,01 M, 0,015 M dan 0,02 M) tanpa sirkulasi dan elektromagnetisasi atau disebut dengan *non-treatment* seperti pada Gambar 4.2 sehingga dapat diketahui pengaruh konsentrasi itu sendiri. Pengujian dilakukan dengan mengukur persen presipitasi  $\text{CaCO}_3$  di larutan campuran  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  menggunakan metode titrasi kompleksometri EDTA pada waktu presipitasi 0, 1, 6 dan 24 jam dikarenakan model larutan  $\text{NaHCO}_3$  merupakan model presipitasi lambat sehingga dibutuhkan waktu presipitasi dengan jangka waktu yang cukup lama.

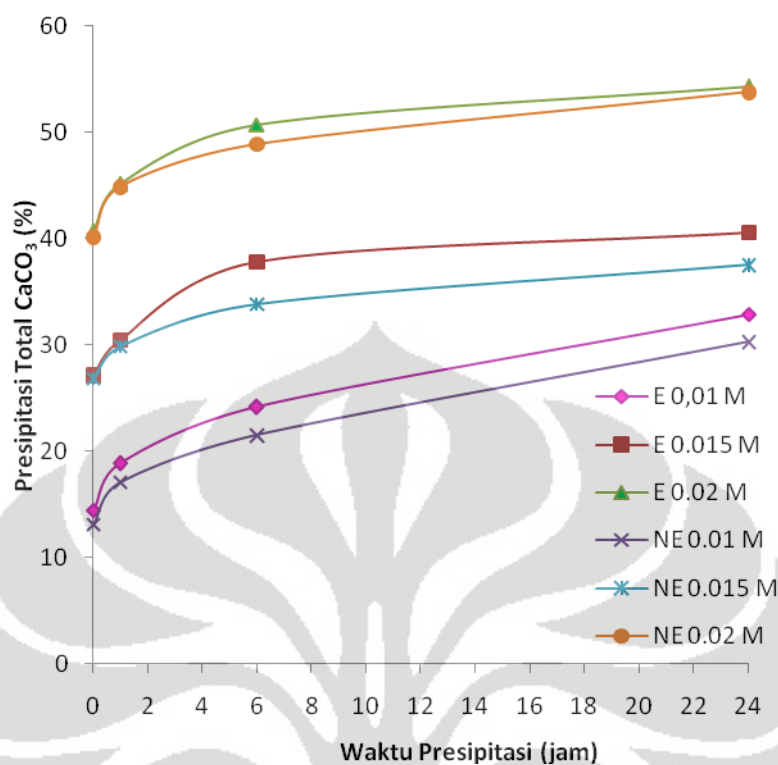


**Gambar 4. 2** Pengaruh Variasi Konsentrasi Larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  Tanpa Perlakuan (*Non-Treatment*) terhadap Persentase Presipitasi  $\text{CaCO}_3$  Total pada Waktu Presipitasi 0 jam (Setelah Sirkulasi), 1 jam, 6 jam dan 24 jam.

Dari Gambar 4.2 terlihat bahwa semakin tinggi konsentrasi maka persen presipitasi  $\text{CaCO}_3$  total semakin besar. Pada 1 jam presipitasi, konsentrasi 0,01 M menghasilkan presipitasi sebesar 2,2 %, konsentrasi 0,015 M menghasilkan

presipitasi total sebesar 4,2 % dan presipitasi total terbesar dihasilkan oleh konsentrasi 0,02 M yaitu 7,6 %. Hal ini dikarenakan pengaruh konsentrasi berkaitan dengan jarak antar partikel  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$ . Bila konsentrasi rendah, maka energi yang dibutuhkan untuk terjadinya presipitasi  $\text{CaCO}_3$  sangat besar karena jarak antar partikelnya besar. Sedangkan pada konsentrasi yang lebih tinggi, jarak antar partikelnya kecil sehingga hanya diperlukan sedikit energi untuk mendorong terjadinya presipitasi  $\text{CaCO}_3$ . Maka dapat dihipotesiskan bahwa semakin tinggi konsentrasi, maka energi yang dibutuhkan untuk mendorong presipitasi  $\text{CaCO}_3$  semakin kecil sehingga presipitasi lebih cepat terjadi. Dan hal ini membuktikan bahwa tanpa medan elektromagnetik, pengaruh kenaikan konsentrasi sudah dapat menyebabkan peningkatan persen presipitasi total  $\text{CaCO}_3$ .

Untuk melihat pengaruh medan elektromagnetik dengan variasi konsentrasi terhadap presipitasi  $\text{CaCO}_3$  dilakukan elektromagnetisasi. Elektromagnetisasi dilakukan dengan pemberian medan elektromagnetik campuran larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan larutan  $\text{CaCl}_2$  yang disirkulasi. Sirkulasi dilakukan karena penelitian ini khusus ditujukan untuk fluida dinamis maka kedua larutan tersebut disirkulasi dengan pompa peristaltik selama 10 menit. Gambar 4.3 berikut ini menggambarkan grafik persentase presipitasi  $\text{CaCO}_3$  total untuk variasi konsentrasi 0,01 M, 0,015 M, dan 0,02 M serta sampel non-elektromagnetisasi terhadap waktu presipitasi.



**Gambar 4. 3** Pengaruh Variasi Konsentrasi Larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  terhadap Persentase Presipitasi  $\text{CaCO}_3$  Total dengan Perlakuan Elektromagnetisasi (E) dan Non-Elektromagnetisasi (NE) pada Waktu Presipitasi 0 jam (Setelah Sirkulasi), 1 jam, 6 jam dan 24 jam.

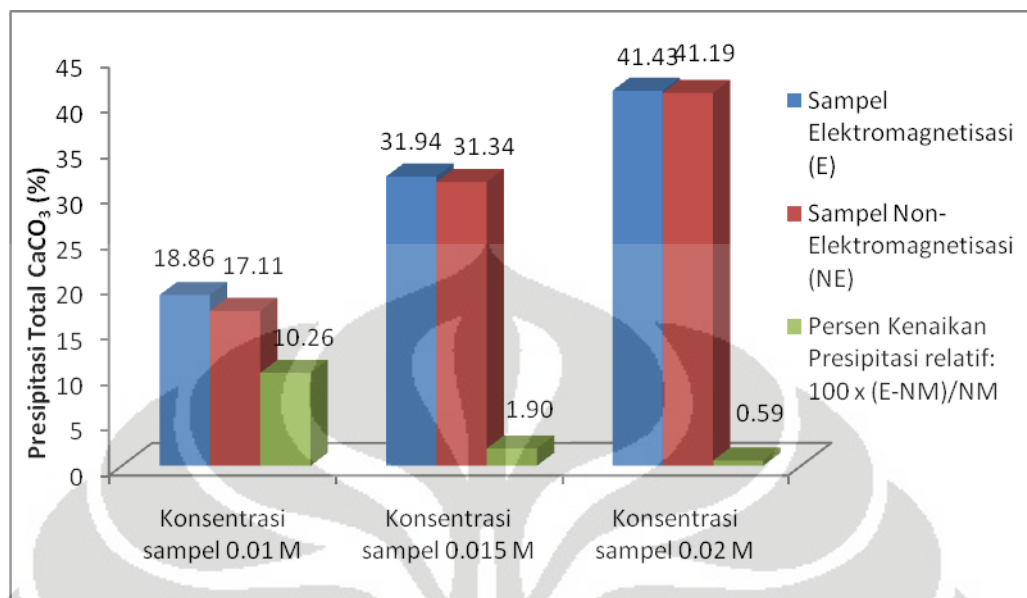
Pada Gambar 4.4 terlihat bahwa pada awal presipitasi (setelah sirkulasi / 0 jam dan 1 jam presipitasi) sampai 6 jam waktu presipitasi, peningkatan presipitasi cukup tajam artinya laju reaksi pembentukan inti  $\text{CaCO}_3$  cukup cepat. Namun setelah 24 jam waktu presipitasi, laju reaksi sudah mulai melambat yang ditandai dengan mulai melandainya garis pada grafik. Hal ini terjadi karena pada awal reaksi, terjadi proses nukleasi. Proses nukleasi terjadi dengan cepat, ketika inti telah terbentuk proses selanjutnya adalah pembentukan dan pertumbuhan kristal yang membutuhkan waktu lebih lama. Oleh karena itulah pada 24 jam waktu presipitasi reaksi berjalan lambat.

Gambar 4.3 juga menunjukkan bahwa kenaikan konsentrasi dapat meningkatkan persentase presipitasi total  $\text{CaCO}_3$  baik pada sampel elektromagnetisasi maupun non-elektromagnetisasi. Seperti terlihat pada 24 jam waktu presipitasi untuk sampel non-elektromagnetisasi, pada konsentrasi 0,01 M

dihasilkan persen presipitasi total  $\text{CaCO}_3$  sebesar 32,9 %, pada konsentrasi 0,015 M dihasilkan persen presipitasi sebesar 41,8 %, dan dihasilkan persen presipitasi terbesar (51,2 %) pada konsentrasi 0,02 M. Begitu pula pada sampel non-elektromagnetisasi terlihat kecenderungan yang sama seperti sampel elektromagnetisasi. Pada sampel non-elektromagnetisasi dengan waktu presipitasi 24 jam dihasilkan persen presipitasi sebesar 30,3 % untuk konsentrasi 0,01 M, 38,8 % untuk konsentrasi 0,015 M dan persen presipitasi terbesar (50,7 %) untuk konsentrasi 0,02 M. Hal ini dikarenakan medan elektromagnetik memberikan pengaruh yang signifikan bila jarak antar partikelnya sudah dekat yaitu pada konsentrasi yang tinggi. Pada konsentrasi rendah, efek medan elektromagnetik kurang signifikan karena jarak antar partikel terlalu jauh dan energi yang dibutuhkan lebih besar untuk mendorong kedua ion tersebut bertumbukan sedangkan medan elektromagnetik tidak menghasilkan energi yang terlalu besar. Sehingga persen presipitasi  $\text{CaCO}_3$  yang dihasilkan tidak cukup besar pada konsentrasi rendah.

Sampel yang dielektromagnetisasi memiliki persen presipitasi yang lebih besar dibandingkan sampel tanpa elektromagnetisasi seperti terlihat pada Gambar 4.4. Berdasarkan data persen presipitasi, pada waktu presipitasi 1 jam, sampel 0,01M elektromagnetisasi sebesar 18,9 % dan sampel 0,01 M non-elektromagnetisasi sebesar 17,1 %, pada konsentrasi 0,015 M elektromagnetisasi sebesar 30,5 % dan sampel non-elektromagnetisasi sebesar 29,9 %, kemudian pada konsentrasi 0,02 M sampel elektromagnetisasi sebesar 45 % dan sampel non-elektromagnetisasi sebesar 44,9 %. Hal ini dikarenakan medan elektromagnetik menghasilkan getaran tertentu yang menciptakan variasi waktu magnetik. Variasi waktu magnetik ini menciptakan induksi listrik yang sesuai dengan Hukum Faraday. Induksi listrik yang beresilasi selama selang waktu tertentu akan menyebabkan agitasi molekular untuk mendorong ion mineral yaitu ion kalsium dan bikarbonat untuk saling berdekatan dan berinteraksi lebih kuat sehingga ion – ion tersebut lebih cepat bertumbukan dan berpresipitasi (Cho et al. 1997). Dalam hal ini medan elektromagnetik memberikan dua efek yaitu memperkuat interaksi ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  dan melemahkan hidrat ion sehingga mempercepat presipitasi

$\text{CaCO}_3$ . Untuk mengetahui kenaikan persen presipitasi antara sampel elektromagnetisasi dan non-elektromagnetisasi dapat dilihat pada Gambar 4.4.



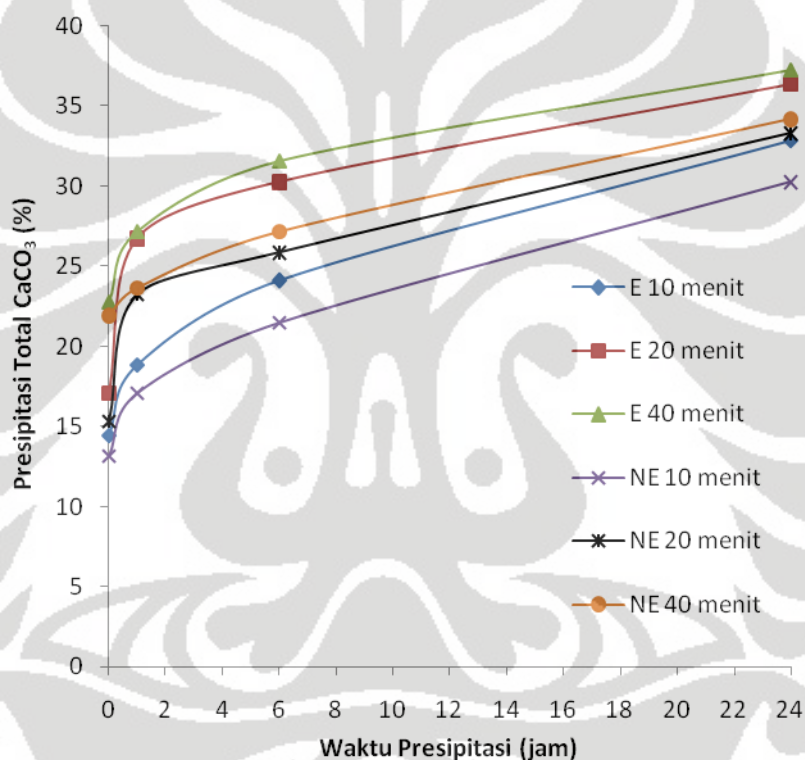
**Gambar 4. 4** Pengaruh Variasi Konsentrasi Larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  terhadap Persentase Presipitasi  $\text{CaCO}_3$  dan Persen Kenaikan Presipitasi Relatif antara Sampel Elektromagnetisasi dan Non- Elektromagnetisasi pada Waktu Presipitasi 1 jam.

Pada Gambar 4.4 terlihat bahwa persen kenaikan presipitasi relatif antara sampel yang dielektromagnetisasi dan sampel non-elektromagnetisasi semakin berkurang seiring dengan meningkatnya konsentrasi larutan. Pada 1 jam waktu presipitasi, konsentrasi sampel 0,01 M memiliki persen kenaikan presipitasi relatif terbesar yaitu 10,3 %, pada konsentrasi sampel 0,015 M didapatkan persen kenaikan presipitasi relatif sebesar 1,9 %, dan persen kenaikan presipitasi relatif terendah 0,59 % didapatkan pada konsentrasi yang sangat tinggi yaitu 0,02 M. Hal ini dikarenakan naiknya konsentrasi larutan  $\text{CaCl}_2$  dan  $\text{NaHCO}_3$  akan meningkatkan supersaturasi dan interaksi ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  sehingga interaksi antar ion menjadi lebih dominan dibandingkan efek penguatan ion akibat medan elektromagnetik. Sebenarnya konsentrasi larutan 0,01 M, 0,015 M dan 0,02 M merupakan harga konsentrasi yang sudah lewat jenuh. Sehingga pada konsentrasi yang sangat tinggi, efek medan elektromagnetik menjadi tidak signifikan karena jarak antar ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  sudah sangat dekat. Hal ini berarti naiknya konsentrasi mengakibatkan penurunan efek medan elektromagnetik dalam mendorong presipitasi  $\text{CaCO}_3$  sesuai dengan hasil yang didapatkan Saksono dalam pengujian variasi konsentrasi dengan medan magnet (Saksono et al., 2008).

#### 4.2.2 Variasi Lama Sirkulasi

Elektromagnetisasi dilakukan pada fluida dinamis, dalam penelitian ini digunakan campuran 50 ml larutan  $\text{NaHCO}_3$  0,01 M dan 50 ml larutan  $\text{CaCl}_2$  0,01 M yang disirkulasi. Untuk melihat pengaruh lama sirkulasi larutan terhadap proses presipitasi  $\text{CaCO}_3$ , maka dilakukan variasi lama sirkulasi yaitu 10, 20, dan 40 menit dengan elektromagnetisasi dan sampel non-elektromagnetisasi.

Gambar 4.5 berikut ini menggambarkan grafik persentase presipitasi  $\text{CaCO}_3$  total untuk waktu elektromagnetisasi 10, 20, dan 40 menit serta sampel non-elektromagnetisasi terhadap waktu presipitasi.



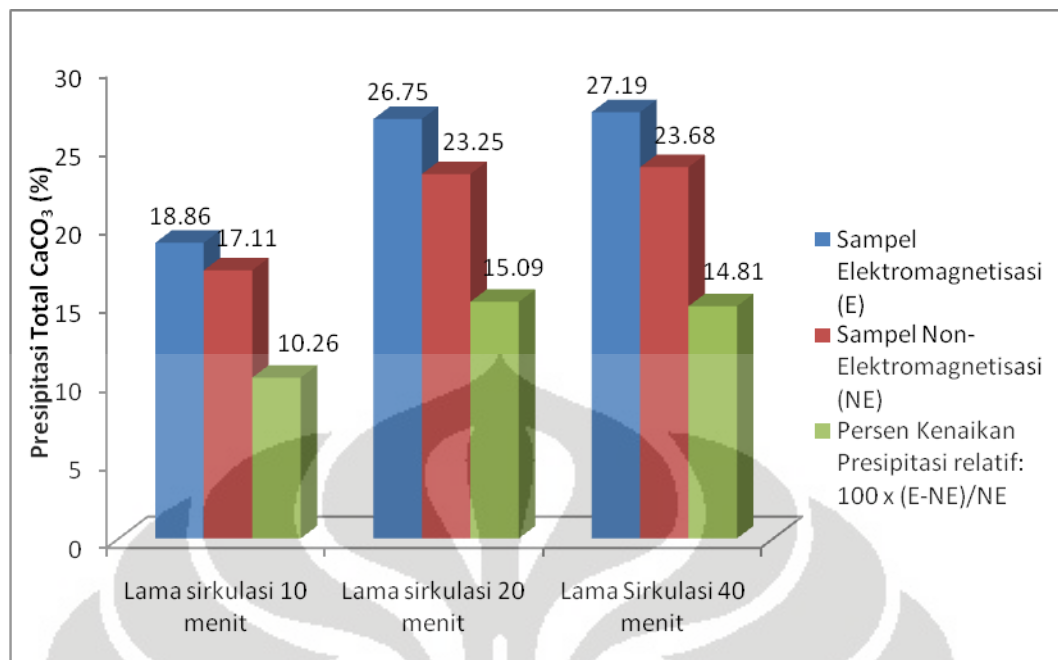
**Gambar 4. 5** Pengaruh Lama Sirkulasi terhadap Persentase Presipitasi Total  $\text{CaCO}_3$  dengan Perlakuan Elektromagnetisasi (E) dan Non-Elektromagnetisasi (NE) pada Waktu Presipitasi 0 jam (setelah sirkulasi), 1 jam, 6 jam dan 24 jam.

Pada Gambar 4.5 terlihat bahwa sampel yang dielektromagnetisasi menghasilkan presentase presipitasi total yang lebih besar dibandingkan dengan sampel non-elektromagnetisasi. Pada akhir waktu presipitasi yaitu 24 jam, sampel elektromagnetisasi 10 menit menghasilkan persen presipitasi  $\text{CaCO}_3$  total sebesar 32,9 %, sedangkan pada sampel non-elektromagnetisasi 10 menit dihasilkan

persen presipitasi sebesar 30,3%. Untuk sampel dengan lama sirkulasi 20 menit dan 40 menit juga dihasilkan kecenderungan yaitu persen presipitasi total sampel elektromagnetisasi lebih besar dari sampel non elektromagnetisasi. Hal ini dikarenakan elektromagnetisasi pada sistem dinamis dapat merubah keefektifan dari tumbukan antara ion  $\text{CO}_3^{2-}$  dan  $\text{Ca}^{2+}$  dan meningkatkan jumlah tumbukan (peningkatan interaksi antar ion) yang akhirnya akan mempercepat presipitasi  $\text{CaCO}_3$  (Cho et al.1997).

Gambar 4.5 juga menunjukkan efek medan elektromagnetik dalam mendorong presipitasi  $\text{CaCO}_3$  meningkat dengan bertambahnya waktu sirkulasi. Pada akhir waktu presipitasi yaitu 24 jam, sampel elektromagnetisasi 10 menit menghasilkan persen presipitasi total sebesar 32,9%, sampel elektromagnetisasi 20 menit menghasilkan presipitasi sebesar 36,4 % dan persen presipitasi terbesar (37,4 %) dihasilkan pada sampel dengan waktu sirkulasi terlama yaitu 40 menit. Penjelasan untuk fenomena tersebut yaitu penambahan waktu sirkulasi berarti menyebabkan efek pelemahan hidrat ion juga meningkat dan menambah waktu elektromagnetisasi. Kemudian penambahan waktu elektromagnetisasi juga akan meningkatkan interaksi antar ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$ . Bila interaksi antara hidrat ion semakin melemah, dan interaksi antar ion semakin kuat maka ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  akan lebih mudah bertumbukan dan berpresipitasi. Dan bila dilihat dari gambar 4.6, sampel yang dielektromagnetisasi dan disirkulasi selama 40 menit menghasilkan persen presipitasi total paling tinggi dibandingkan sampel 10 menit dan 20 menit. Namun bila dilihat dari segi peningkatan presipitasi antara sampel non-elektromagnetisasi dan sampel elektromagnetisasi disetiap waktu presipitasinya seperti pada Gambar 4.6 berikut, maka didapatkan fakta yang berbeda.



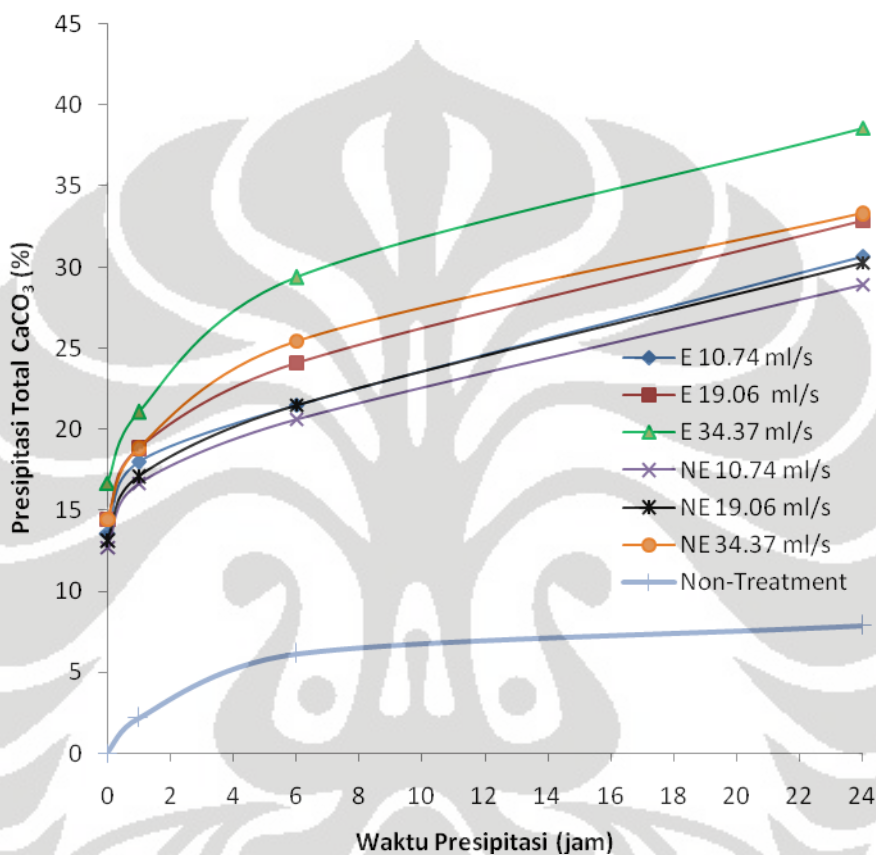


**Gambar 4.6** Pengaruh Lama Sirkulasi terhadap Persentase Presipitasi  $\text{CaCO}_3$  Total dan Persen Kenaikan Presipitasi Relatif antara Sampel Elektromagnetisasi dan Non-Elektromagnetisasi pada Waktu Presipitasi 1 Jam.

Dari Gambar 4.6 diketahui bahwa persen kenaikan presipitasi relatif setelah waktu presipitasi 1 jam pada lama sirkulasi 10 menit sebesar 10,3 %, pada lama sirkulasi 20 menit sebesar 15,1 % dan pada lama sirkulasi 40 menit sebesar 14,8 %. Hal ini menunjukkan semakin lama waktu sirkulasi maka persen kenaikan presipitasi relatifnya akan semakin besar, namun terdapat waktu sirkulasi optimum dimana untuk waktu sirkulasi yang melebihi waktu sirkulasi optimum tersebut, persen kenaikan presipitasi relatif yang dihasilkan tidak signifikan kenaikannya. Untuk peningkatan laju presipitasi optimum dicapai pada 20 menit sirkulasi dimana terjadi persen kenaikan relatif antara sampel elektromagnetisasi dan sampel non-elektromagnetisasi hingga 15,1 % sedangkan untuk waktu sirkulasi 40 menit, peningkatan persen kenaikan relatif kurang signifikan sebesar 14,8 %. Hal ini menunjukkan kondisi optimum untuk larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  konsentrasi 0,01 M dengan kecepatan alir 19,06 ml/s tercapai pada waktu sirkulasi 20 menit. Sehingga elektromagnetisasi pada air sadah akan mengalami kejenuhan pada harga waktu sirkulasi tertentu.

### 4.2.3 Variasi Laju Alir

Variasi laju alir dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh laju alir terhadap efek elektromagnetisasi pada proses presipitasi  $\text{CaCO}_3$ . Laju alir yang divariasikan adalah 10,74 ml/s, 19,06 ml/s dan 34,37 ml/s. Hasil persen presipitasi total  $\text{CaCO}_3$  dapat dilihat pada gambar 4.7.



**Gambar 4. 7** Pengaruh Laju Alir terhadap Persentase Presipitasi Total  $\text{CaCO}_3$  dengan Perlakuan Elektromagnetisasi (E) dan Non-Elektromagnetisasi (NE) pada Waktu Presipitasi 0 jam (setelah sirkulasi), 1 jam, 6 jam dan 24 jam.

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa kenaikan laju alir dapat meningkatkan persentase presipitasi total  $\text{CaCO}_3$  pada awal presipitasi 1 jam maupun setelah waktu presipitasi 24 jam dan hal ini terjadi baik pada sampel yang elektromagnetisasi maupun non-elektromagnetisasi. Pada 24 jam waktu presipitasi terlihat bahwa persen presipitasi total  $\text{CaCO}_3$  untuk elektromagnetisasi pada laju alir 10,74 ml/s sebesar 30,7%, pada laju alir 19,06 ml/s sebesar 32,9% dan persen presipitasi tertinggi didapat pada laju alir 34,37 ml/s yaitu sebesar 38,6%.

Peningkatan persen presipitasi ini juga dihasilkan pada sampel yang tidak diberi medan elektromagnetik. Hal ini dikarenakan pengaruh laju alir itu sendiri dapat meningkatkan kecepatan alir dari suatu aliran. Bila laju alir semakin tinggi maka kecepatan aliran semakin tinggi sehingga ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  akan lebih terdorong untuk bertemu dan berpresipitasi. Hal ini terbukti dari persen presipitasi  $\text{CaCO}_3$  sampel non-elektromagnetisasi yang sirkulasi dengan laju alir tertentu, lebih besar daripada sampel yang hanya didiamkan tanpa diberi perlakuan apapun (*non-treatment*).

Pada Gambar 4.7 juga terlihat bahwa sampel elektromagnetisasi memiliki persen presipitasi  $\text{CaCO}_3$  yang lebih besar untuk semua laju alir dibandingkan sampel non elektromagnetisasi. Hal ini dikarenakan pada sampel yang diberi medan elektromagnetik terdapat gaya Lorentz sedangkan pada sampel yang tidak diberi medan elektromagnetik tidak terdapat gaya Lorentz. Diketahui bahwa efek gaya Lorentz pada ion yang bergerak melewati medan elektromagnetik menyebabkan terjadinya pergeseran ion yang signifikan. Hasil simulasi yang dilakukan oleh Kozic menunjukkan terjadi pergeseran 0,2 – 10 nm untuk ion dan 0,2 nm – 2  $\mu\text{m}$  untuk partikel, dimana harga tersebut memadai untuk menembus ketebalan dari *electric double layer* pada larutan jenuh  $\text{CaCO}_3$  sebagai syarat terjadinya presipitasi ion / partikel bermuatan (Kozic et al., 2003). Adanya gaya Lorentz pada ion bermuatan juga mendorong terjadinya perpindahan lokal (*local convection movement*) dalam cairan yang dapat berperan dalam peningkatan penggabungan antar ion-ion atau partikel-partikel koloid.

Gaya Lorentz yang terjadi pada ion sewaktu ion melewati medan elektromagnetik adalah fungsi dari ion / partikel bermuatan ( $q$ ), kecepatan aliran dari ion / partikel bermuatan ( $v$ ) dan kuat medan magnet ( $B$ ) seperti dalam persamaan (4.8) (Tipler 1991).

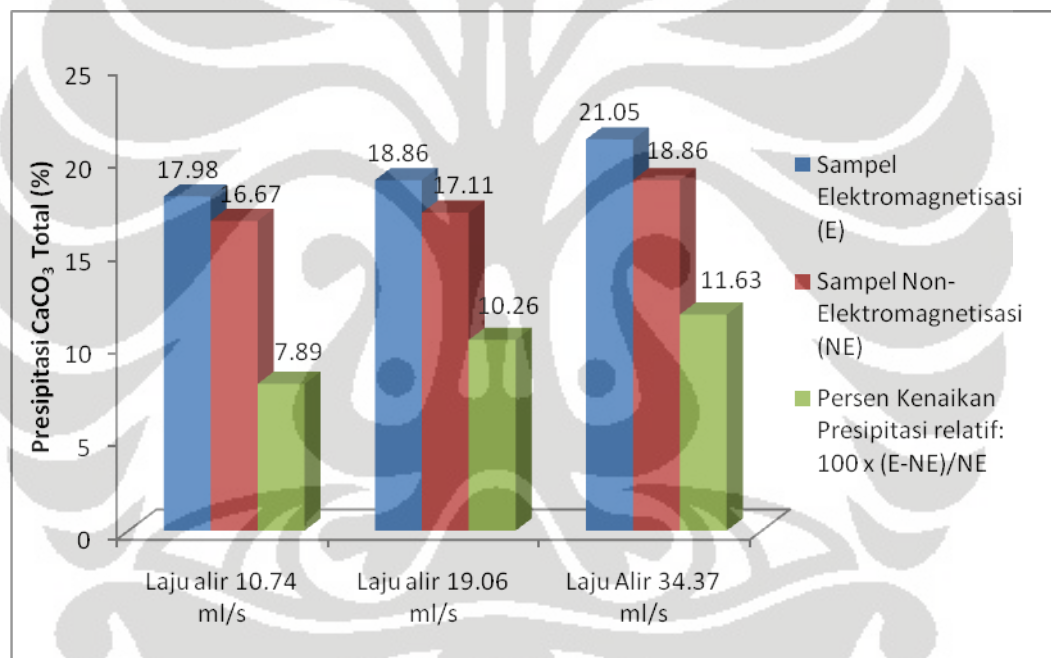
$$F = B \cdot q \cdot v \quad (4.8)$$

Dan kecepatan aliran ( $v$ ) merupakan fungsi dari laju alir ( $Q$ ) dan Luas permukaan pipa ( $A$ ) yang diformulasikan dalam persamaan (4.9).

$$v = \frac{Q}{A} \quad (4.9)$$

Dengan meningkatnya laju alir ( $Q$ ), maka kecepatan aliran ( $v$ ) dari ion melintasi medan elektromagnetik akan semakin besar dan gaya Lorentz ( $F$ ) juga akan semakin besar. Gaya Lorentz yang semakin besar akan meningkatkan kekuatan tumbukan dan interaksi antara ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  sehingga presipitasi yang dihasilkan pun semakin besar dibandingkan tanpa adanya gaya Lorentz.

Untuk membuktikan pengaruh dari medan elektromagnetik terhadap presipitasi  $\text{CaCO}_3$  untuk variasi laju alir maka dapat dilihat dari Gambar 4.8.



**Gambar 4. 8** Pengaruh Laju Alir terhadap Persentase Presipitasi  $\text{CaCO}_3$  Total dan Persen Kenaikan Presipitasi Relatif antara Sampel Elektromagnetisasi dan Non-Elektromagnetisasi pada Waktu Presipitasi 1 jam.

Pada Gambar 4.8 terlihat perbedaan persen kenaikan presipitasi total  $\text{CaCO}_3$  antara sampel elektromagnetisasi dan non-elektromagnetisasi yang cukup signifikan. Persen kenaikan presipitasi relatif terbesar yaitu 11,6 % didapatkan pada saat laju alir tertinggi yaitu 34,37 ml/s. Pada laju alir terendah (10,74 ml/s) hanya didapatkan persen kenaikan presipitasi relatif sebesar 7,9 % sedangkan pada

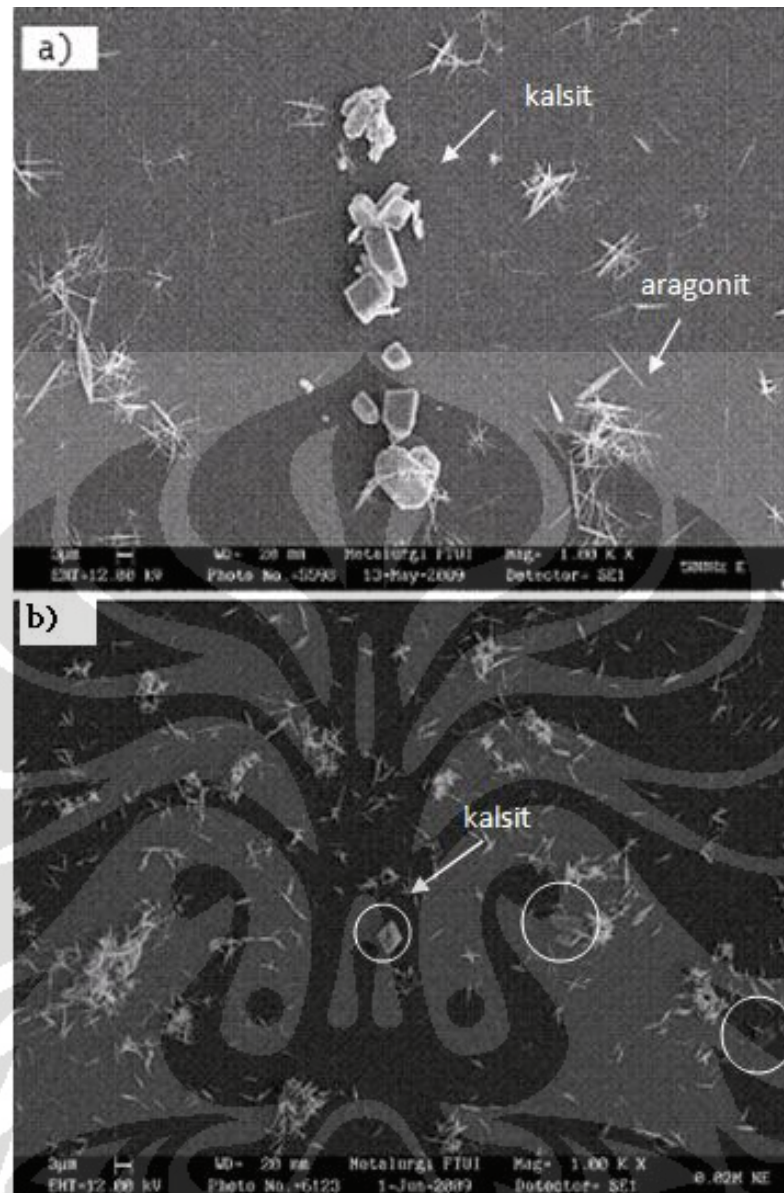
laju alir 19,06 didapatkan persen kenaikan presipitasi relatif yang tidak sebesar pada laju alir 34,37 ml/s yaitu 10,3%. Sehingga dapat dikatakan persen kenaikan presipitasi relatif  $\text{CaCO}_3$  antara sampel elektromagnetisasi dan sampel non elektromagnetisasi meningkat seiring dengan peningkatan laju alir. Hal ini dikarenakan efek dari gaya lorentz yang dihasilkan oleh elektromagnetisasi fluida dinamis cukup signifikan untuk membuat interaksi antara ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  lebih kuat dibandingkan tanpa medan elektromagnetik.

### **4.3 Morfologi, Ukuran dan Populasi Partikel $\text{CaCO}_3$ dari Hasil Uji SEM**

Untuk melihat secara detail morfologi, ukuran, dan populasi dari partikel  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk, maka dilakukan uji foto dengan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Hasil uji SEM juga digunakan untuk melihat perbedaan kristal yang terbentuk antara sampel elektromagnetisasi dan non-elektromagnetisasi. Kemudian juga digunakan untuk melihat pengaruh dari variasi kondisi operasi terhadap kristal  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk.

#### **4.3.1 Analisa SEM Ditinjau dari Segi Perbandingan antara Sampel Elektromagnetisasi dan Non-Elektromagnetisasi**

Uji foto SEM dilakukan pada beberapa perbesaran untuk dapat melihat bentuk morfologi partikel  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk secara jelas. Kristal  $\text{CaCO}_3$  mempunyai 3 bentuk kristal yang berbeda, yaitu kalsit, aragonit, dan vaterit. Identifikasi masing-masing dari ketiga jenis kristal tersebut yaitu kalsit berupa kubus padat, vaterit berbentuk seperti bunga (*flower-like*), sedangkan aragonit berbentuk seperti kumpulan jarum (Coey et al. 1999). Kalsit terbentuk pada suhu ruang sedangkan aragonit terbentuk pada suhu tinggi di atas  $30^{\circ}\text{C}$  (Cho et al. 1997). Uji SEM untuk melihat morfologi, ukuran dan populasi dari kristal  $\text{CaCO}_3$  yan terbentuk dilakukan dengan larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  konsentrasi 0,02 M, laju alir 19,06 ml/s dan lama sirkulasi 10 menit seperti pada Gambar 4.9.



**Gambar 4. 9** Hasil Uji SEM Partikel  $\text{CaCO}_3$  Perbesaran 1000 Kali dengan Konsentrasi 0,02 M, Laju Alir 19,06 ml/s dan Lama Sirkulasi 10 Menit (a) Sampel Elektromagnetisasi (E); (b) Sampel Non-Elektromagnetisasi (NE).

Gambar 4.9 menunjukkan bahwa untuk sampel yang dielektromagnetisasi dan non-elektromagnetisasi ditemukan jenis kristal kalsit dan aragonit. Untuk kedua sampel kristal yang dominan terbentuk adalah kristal aragonit. Kalsit merupakan jenis kristal *hardscale* yang sulit untuk dihilangkan jika sudah menempel pada sistem perpipaan, berbeda dengan aragonit sebagai *softscale* yang mudah untuk dihilangkan. Keberadaan veterit tidak terdeteksi dalam percobaan

ini juga dikarenakan sifatnya yang metastabil dan cepat bertransformasi membentuk kalsit.

Selain perlu mengetahui mengenai morfologi dari kristal  $\text{CaCO}_3$ , perlu diketahui juga ukuran kristal yang terbentuk baik pada sampel elektromagnetisasi maupun tanpa elektromagnetisasi. Bila dilihat dari ukuran kristal  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk, sampel elektromagnetisasi menghasilkan ukuran kristal 3,3 kali lebih besar ( $15 \mu\text{m}$ ) dibandingkan sampel non-elektromagnetisasi ( $4,5 \mu\text{m}$ ). Dengan kata lain, pada waktu pengendapan yang sama (24 jam) sampel elektromagnetisasi menghasilkan ukuran kristal  $\text{CaCO}_3$  yang lebih besar dibandingkan dengan non-elektromagnetisasi. Fenomena perbedaan ukuran kristal ini diduga disebabkan oleh dua faktor (Xing et al., 2005). Pertama, tanpa medan elektromagnetik, ion positif dan ion negatif bergerak dengan gerakan yang acak yang kurang signifikan untuk terjadinya tumbukan antar ion dan presipitasi. Sedangkan pada sampel yang diberi medan elektromagnetik, probabilitas dan efisiensi tumbukan antar ion dapat ditingkatkan secara signifikan dengan menciptakan medan listrik yang berosilasi sehingga memperbesar jumlah nukleasi kristal. Faktor yang kedua, karena medan elektromagnetik menghasilkan induksi listrik yang meningkatkan frekuensi dan keefektifan tumbukan kristal di dalam larutan, proses koagulasi kristal di dalam larutan akan lebih cepat dan lebih efektif. Xing et al memperkuat hipotesisnya ini (perbedaan ukuran kristal yang didapat dari hasil SEM) dengan melakukan pengukuran diameter kristal menggunakan *Dynamic Light Scattering* (DLS) dan hasilnya untuk sampel yang tidak dielektromagnetisasi didapatkan diameter sebesar  $9,55 \mu\text{m}$ , sedangkan sampel yang diberi medan elektromagnetik berukuran  $14,19 \mu\text{m}$  (Xing et al., 2005).

Hasil uji SEM dapat juga dilihat dari segi jumlah populasi kristal  $\text{CaCO}_3$ . Gambar 4.9 menunjukkan pada sampel yang dielektromagnetisasi selama 10 menit, populasi kristal yang cenderung terbentuk berukuran besar dan berjumlah sedikit secara kualitatif. Sedangkan pada sampel non-elektromagnetisasi ditemukan lebih banyak kristal namun memiliki ukuran yang lebih kecil. Hal ini dikarenakan medan elektromagnetik menekan pembentukan  $\text{CaCO}_3$ , namun

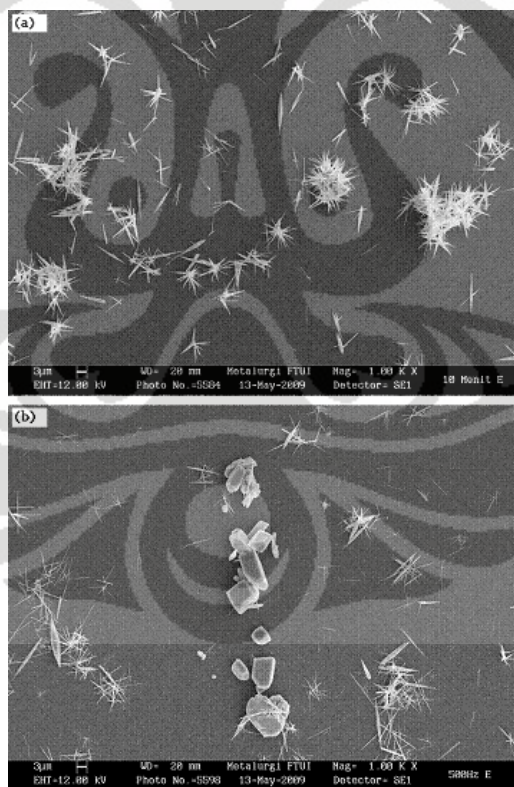
mempercepat pertumbuhan kristal menjadi kristal yang lebih besar. Hal ini sesuai dengan hipotesis yang diajukan oleh Higashitani.

#### 4.3.2 Analisa SEM Ditinjau dari Segi Pengaruh Variabel Kondisi Operasi

Untuk memperkuat hasil analisis pada variasi variabel kondisi operasi yang didapat dengan metode Titrasi Kompleksimetri EDTA berupa persen presipitasi  $\text{CaCO}_3$  total maka diperlukan analisis tambahan menggunakan SEM agar hipotesis yang diberikan dapat dibuktikan. Perbandingan hasil uji foto SEM dilakukan dengan variasi konsentrasi, lama sirkulasi dan laju alir.

##### 4.3.2.1 Variasi Konsentrasi

Uji SEM dilakukan pada larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  dengan konsentrasi yang berbeda yaitu konsentrasi 0,01 M dan 0,02 M. Analisa hasil SEM untuk variasi konsentrasi dilakukan untuk melihat pengaruh konsentrasi terhadap efektivitas medan elektromagnetik dalam membentuk kristal  $\text{CaCO}_3$ .



**Gambar 4.10** Hasil Uji SEM Partikel  $\text{CaCO}_3$  Sampel Elektromagnetisasi Perbesaran 1000 Kali Sebagai Perbandingan Konsentrasi dengan Laju Alir 19,06 ml/s dan Lama Sirkulasi 10 Menit (a) Konsentrasi 0,01 M ; (b) Konsentrasi 0,02 M.

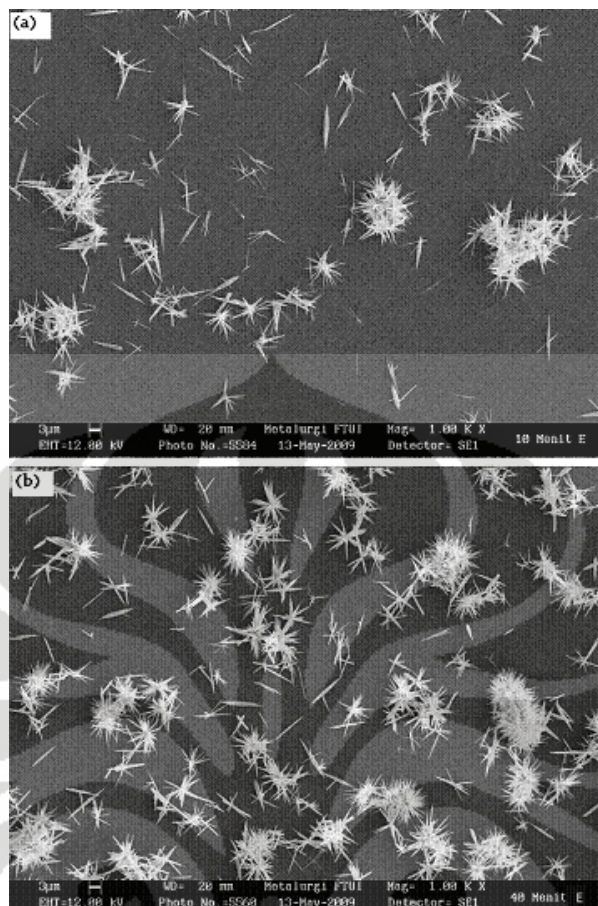


Dari Gambar 4.10 terlihat bahwa pada hasil uji SEM untuk sampel dengan konsentrasi yang lebih tinggi terdapat kristal kalsit dan aragonit yang terbentuk sedangkan pada konsentrasi 0,01 M tidak terdapat kristal kalsit melainkan hanya kristal aragonit. Hal ini dikarenakan pada larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  dengan konsentrasi 0,01 M, pH yang terukur adalah 7,6-8 sehingga tidak terbentuk kristal kalsit. Kristal kalsit terbentuk pada pH 8,2 – 8,3. Pada konsentrasi yang lebih tinggi yaitu konsentrasi 0,02 M baru terbentuklah kristal kalsit karena pH dari larutan tersebut mendekati pH isoelektrik kalsit.

Dan bila dilihat secara kualitatif, pada konsentrasi 0,02 M jumlah kristal yang terbentuk lebih sedikit dibandingkan pada konsentrasi yang lebih rendah yaitu 0,01 M. Hal ini sesuai dengan hasil yang didapatkan dari analisa presipitasi  $\text{CaCO}_3$  menggunakan Titrasi Kompleksimetri EDTA dengan variasi konsentrasi pada subbab 4.2.1. Fenomena ini terjadi dikarenakan naiknya konsentrasi larutan  $\text{CaCl}_2$  dan  $\text{NaHCO}_3$  akan meningkatkan supersaturasi dan interaksi ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  sehingga interaksi ion menjadi lebih kuat dibandingkan efek penguatan ion akibat medan elektromagnetik. Sebenarnya konsentrasi larutan 0,01 M, 0,015 M dan 0,02 M merupakan harga konsentrasi yang sudah lewat jenuh. Sehingga pada konsentrasi yang sangat tinggi, efek medan elektromagnetik menjadi tidak signifikan karena jarak antar ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  sudah sangat dekat.

#### **4.3.2.2 Variasi Lama Sirkulasi**

Uji SEM dilakukan pada larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  dengan lama sirkulasi yang berbeda yaitu waktu sirkulasi 10 menit dan waktu sirkulasi 40 menit. Analisa hasil SEM untuk variasi lama sirkulasi dilakukan untuk melihat pengaruh lama sirkulasi terhadap pembentukan kristal  $\text{CaCO}_3$



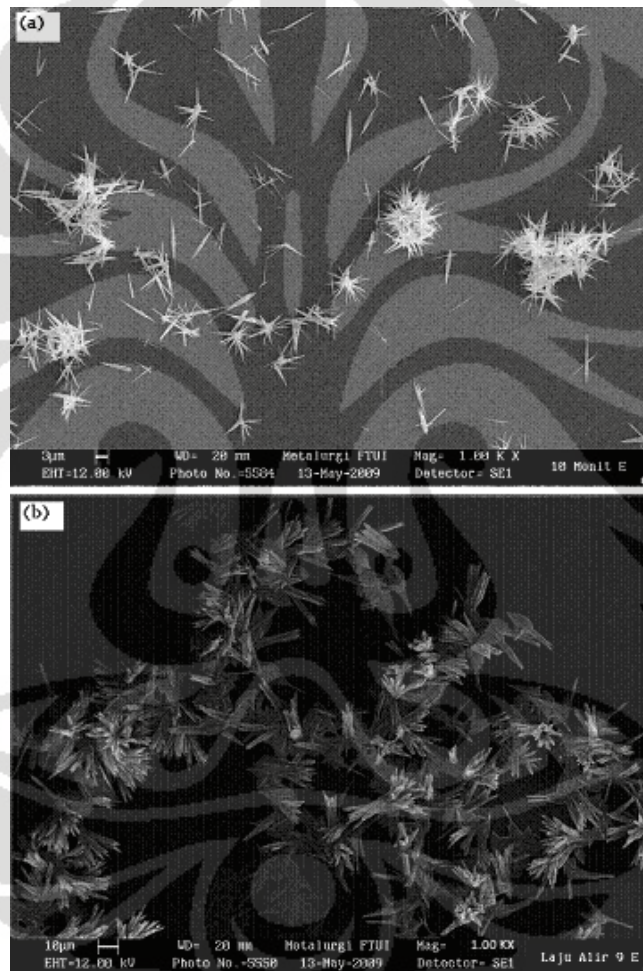
**Gambar 4.11** Hasil Uji SEM Partikel  $\text{CaCO}_3$  Sampel Elektromagnetisasi Perbesaran 1000 Kali Sebagai Perbandingan Lama Sirkulasi dengan Laju Alir 19,06 ml/s dan Konsentrasi 0,01 M (a) Lama Sirkulasi 10 menit ; (b) Lama Sirkulasi 40 menit.

Dari Gambar 4.11 terlihat bahwa baik pada sampel dengan lama sirkulasi 10 menit maupun sampel dengan lama sirkulasi 40 menit, kristal yang terbentuk adalah aragonit. Namun secara kualitatif, jumlah kristal aragonit lebih banyak pada sampel dengan lama sirkulasi 40 menit. Sehingga dapat dikatakan semakin lama sirkulasi semakin besar presipitasi  $\text{CaCO}_3$  yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan hasil yang didapatkan dari analisa presipitasi  $\text{CaCO}_3$  menggunakan Titrasi Kompleksimetri EDTA dengan variasi lama sirkulasi pada subbab 4.2.2. Penjelasan untuk fenomena tersebut yaitu penambahan waktu sirkulasi berarti menyebabkan efek pelemahan hidrat ion juga meningkat dan menambah waktu elektromagnetisasi. Kemudian penambahan waktu elektromagnetisasi juga akan meningkatkan interaksi antar ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$ . Bila interaksi antara hidrat ion semakin melemah, dan interaksi antar ion semakin kuat maka ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$

akan lebih mudah bertumbukan dan berpresipitasi menghasilkan pembentukan kristal yang lebih banyak dibandingkan sampel dengan lama sirkulasi yang lebih rendah.

#### 4.3.2.3 Variasi Laju Alir

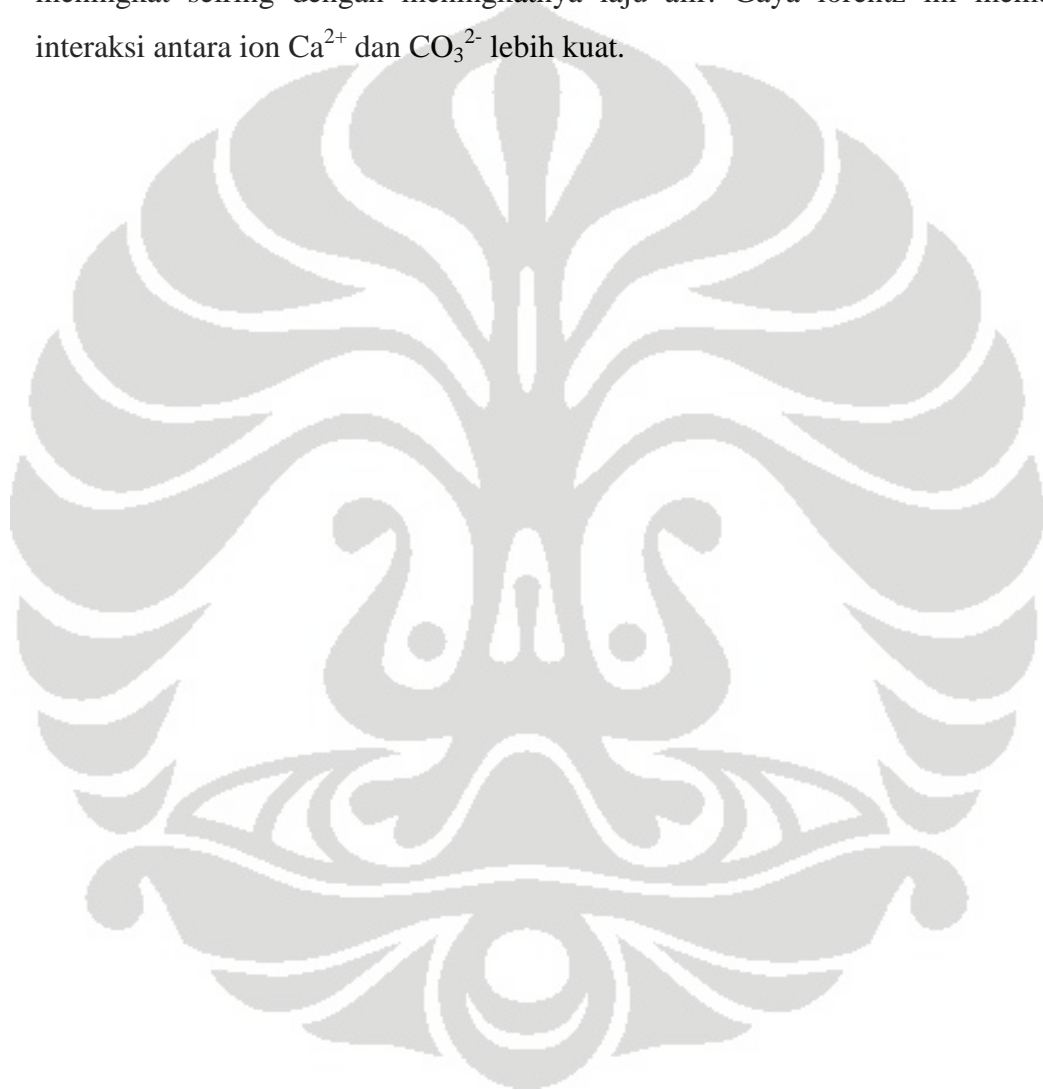
Uji SEM dilakukan pada larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  dengan laju alir yang berbeda yaitu laju alir 19,06 ml/s dan 3,37 ml/s. Analisa hasil SEM untuk variasi laju alir dilakukan untuk melihat pengaruh laju alir terhadap efektivitas medan elektromagnetik dalam mempercepat pembentukan kristal  $\text{CaCO}_3$ .



**Gambar 4.12** Hasil Uji SEM Partikel  $\text{CaCO}_3$  Sampel Elektromagnetisasi Perbesaran 1000 Kali Sebagai Perbandingan Laju Alir dengan Lama Sirkulasi 10 menit dan Konsentrasi 0,01 M (a) Laju Alir 19,06 ml/s ; (b) Laju Alir 34,37 ml/s.

Pada Gambar 4.12 terlihat bahwa baik pada sampel elektromagnetisasi dengan laju alir 19,06 ml/s maupun pada laju alir 34,37 ml/s hanya terbentuk kristal aragonit. Pada sampel dengan laju alir 34,37 ml/s kristal yang terbentuk

lebih besar dan berjumlah banyak secara kualitatif dibandingkan dengan sampel laju alir yang lebih rendah yaitu 19,06 ml/s. Kristal-kristal pada laju alir 34,37 ml/s tersebut bergabung menjadi suatu kristal yang berdekatan jaraknya. Hasil ini sesuai dengan yang didapatkan pada analisa Titrasi Kompleksimetri EDTA untuk variasi laju alir bahwa semakin besar laju alir maka presipitasi yang terbentuk akan semakin besar. Hal ini dikarenakan efek dari gaya lorentz yang meningkat seiring dengan meningkatnya laju alir. Gaya lorentz ini membuat interaksi antara ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  lebih kuat.





## BAB 5

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh medan elektromagnetik terhadap presipitasi  $\text{CaCO}_3$  pada sistem fluida dinamik dengan studi kasus konsentrasi, lama sirkulasi dan laju alir maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pengukuran untuk variasi konsentrasi baik menggunakan Titrasi Kompleksiometri EDTA maupun SEM menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi maka presipitasi  $\text{CaCO}_3$  total yang dihasilkan akan semakin besar. Namun efek medan elektromagnetik tidak signifikan pada konsentrasi yang sangat tinggi. Konsentrasi yang dapat menghasilkan kenaikan persen presipitasi terbesar didapatkan pada konsentrasi 0,01 M.
2. Hasil pengukuran untuk variasi lama sirkulasi baik menggunakan Titrasi Kompleksiometri EDTA maupun SEM menunjukkan bahwa semakin lama waktu sirkulasi maka presipitasi  $\text{CaCO}_3$  yang dihasilkan semakin besar. Namun terdapat waktu optimum dimana setelah waktu tersebut, persen kenaikan presipitasi relatif yang didapatkan tidak signifikan. Waktu sirkulasi optimum untuk mempercepat presipitasi  $\text{CaCO}_3$  pada penelitian ini adalah 20 menit.
3. Hasil pengukuran untuk variasi laju alir baik menggunakan Titrasi Kompleksiometri EDTA maupun SEM menunjukkan bahwa semakin tinggi laju alir maka presipitasi  $\text{CaCO}_3$  yang dihasilkan semakin besar. Persen presipitasi  $\text{CaCO}_3$  terbesar dalam penelitian ini didapatkan pada laju alir 34,37 ml/s.
4. Kristal  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk pada fasa deposit baik pada sampel elektromagnetisasi maupun non-elektromagnetisasi adalah kalsit dan aragonit.
5. Elektromagnetisasi membuat ukuran kristal  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk menjadi lebih besar dan jumlah populasinya lebih sedikit dibandingkan dengan non-elektromagnetisasi.



## DAFTAR REFERENSI

- Abdel-Aal, N., Satoh, K., & Sawada, K. (2002). Study of The Adhesion Mechanism Of  $\text{CaCO}_3$  Using a Combined Bulk Chemistry/Qcm Technique. *Journal of Crystal Growth* 245, 87–100.
- Anonim.(2008).*Solenoid*.([http://hyperphysics.phy\\_astr.gsu.edu/hbse/solids/ferro.html](http://hyperphysics.phy_astr.gsu.edu/hbse/solids/ferro.html)). 24 April 2008.
- Anonim. (2008). *Hard water*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Hard\\_water](http://en.wikipedia.org/wiki/Hard_water). 2 Juni 2008.
- Anonim. (2009). *The Principles of Scale Formation and Elimination By The ScaleBlaster*<http://www.scaleblaster.com/Downloads/scaleblaster%20new.ppt>. 11 Juni 2009.
- Baker, John S., Judd, Simon J., & Parsons, Simon A. (1997). Antiscale Magnetic Pretreatment of Reverse Osmosis Feedwater. *Desalination* 110, 151-166.
- Ben Amor, M., Zgolli, D., Tlili, M.M., & Manzola, A.S. (2004). Influence of Water Hardness, Substrate Nature and Temperature on Heterogeneous Calcium Carbonate Nucleation. *Desalination* 166 , 79-84.
- Busch, K.W., Busch, M.A, Darling, R.E., Maggard, S dan Kubala, S.W. (1997). Laboratory Studies on Magnetic Water Treatment and Their Relationship To A Possible Mechanism For Scale Reduction. *Trans. IChemE* 75105.
- Chibowski, E., Holysz, Lucyna, & Szczes, Aleksandra. (2003). Adhesion Of In Situ Precipitated Calcium Carbonate In The Presence And Absence Of Magnetic Field In Quiscent Condition On Different Solid Surface. *Water Research* 37, 4685-4692.





- Chunfu Fan, & Young I. Cho. (1997). Microscopic Observation of Calcium Carbonate Particles: Validation of Electronic Anti- Fouling Technology. *International Community Heat Mass Transfer*, Vol.24, No. 6, pp. 747-756.
- Coey, J.M.D., & Cass, Stephen. (2000). Magnetic Water Treatment. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 209, 71-74.
- Elfil, H., & Roques, H. (2001). Role of Hydrate Phases of Calcium Carbonate on The Scaling Phenomenon. *Desalination* 137, 177-186.
- Fathi, A., Mohamed, T., Claude, G., Maurin, G., & Mohamed, B.A. (2006). Effect of Magnetic Water Treatment on Homogeneous Precipitation of Calcium Carbonate. *Water Research* 40, 1941-1950.
- Gabrielli, C., Jaouhari, R., Maurin, G., & Keddou, M. (2001). Magnetic Water Treatment for Scale Prevention. *Water Research* 35, 3249-3259.
- Jun Oshitani, Ryosuke Uehara, & Ko Higashitani. (1999). Magnetic Effect on Electrolyte Solutions in Pulse and Alternating Fields. *Journal of Colloid and Interface Science* 209, 374-379.
- Kemmer, F. N. (1988). *The NALCO Water Handbook*. 2<sup>nd</sup> Ed, New York : McGraw-Hill Book Company.
- Knez, Sergej, & Pohar, Chili. (2005). The Magnetic Field Influence on The Polymorph Composition of CaCO<sub>3</sub> Precipitated From Carbonized Aqueous Solutions. *Journal of Colloid and Interface Science* 281, 377-388.
- Kobe, S., et al. (2003). Control Over Nano Crystallization in Turbulent Flow in The Presence of Magnetic Fields. *Materials Science and Engineering C* 23, 811- 815.

- Ko Higashitani, Akiko Kage, Sinichi K., Katsunori I., Shintaro H. (1993). Effects of Magnetic Field on The Formation CaCO<sub>3</sub> Particles. *Journal Of Colloid Interface Science* 156, 90-95.
- Kozic, V., & Lipus, L.C. (2003). Magnetic Water Treatment for a Less Tenacious Scale. *J. Chem. Inf. Comput. Sci.* 43, 1815-1819.
- Leonard D.T, Bock Choon Pak, Byung Joon Baek , Dong Hwan Lee, & Young I. Cho. (2007). An Experimental Study on The Bulk Precipitation Mechanism of Physical Water Treatment for The Mitigation of Mineral Fouling. *International Communications in Heat and Mass Transfer*.
- Saksono, N., Bismo, S., Krisanti, E., & Widaningrum, R. (2006). Pengaruh Medan Magnet pada Presipitasi CaCO<sub>3</sub> Untuk Pencegahan Kerak. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia, Vol 6, No 2 , Edisi Agustus*.
- Saksono, Nelson. (2006). Magnetisasi Air Sadah Untuk Pencegahan Pembentukan Kerak. *Jurnal Teknologi, Edisi 4 Tahun XX, Desember*.
- Saksono, N., Fauzie, A., Bismo, S., & Widaningrum, S. (2007). Effects Of Magnetic Field On Calcium Carbonate Precipitation In Static And Dynamic Fluid Systems. *Regional Symposium On Chemical Engineering*, ISBN 978-979-16978-0-4.
- Saksono, N. Bismo, S., & Widaningrum, S. (2008). Efek Medan Magnet Terhadap Konduktivitas Larutan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> Dan Presipitasi CaCO<sub>3</sub> Pada Sistem Sirkulasi Fluida Dinamik. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II 2008, Universitas Lampung, 17-18 November 2008*.
- Tao Chen, Neville, Anne, & Mingdong Yuan. (2005). Calcium Carbonate Scale Formation-Assessing The Initial Stages Of Precipitation And Deposition. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 46 185– 194.
- Tipler, Paul A. (1991). *Fisika Untuk Sains dan Teknik*. Ed. ke- 3. Jakarta: Erlangga. 209-304.

Xing Xiaokai, Ma Chongfang, and Chen Yongchang. (2005). Investigation on the Electromagnetic Anti-Fouling Technology for Scale Prevention. *Chem.Eng.Technol.*

Young I Cho, Chunfu Fan, dan Byung- Gap Choi. (1997). Theory of Electronic Anti- Fouling Technology To Control Precipitation Fouling in Heat Exchanger. *Internaional Community Heat Mass Transfer*, Vol.24, No. 6, pp. 757-770.





## LAMPIRAN

### A. Contoh Perhitungan

- Perhitungan untuk sampel elektromagnet di titik awal sebelum sirkulasi pada variasi konsentrasi 0,01 M.

Diketahui :

Volume standarisasi larutan EDTA = 4,54 ml

Volume sampel = 10 ml

Volume CaCO<sub>3</sub> standar induk dibuat dalam = 1000 ml

BM CaCO<sub>3</sub> = 100 g/mol

CaCO<sub>3</sub> yang ditimbang untuk pembuatan standar = 0,5 g

Konsentrasi EDTA dihitung dengan persamaan :

$$V_{EDTA \text{ standarisasi}} M_{EDTA} = V_{Sampel} M_{Sampel}$$

$$V_{EDTA \text{ standarisasi}} M_{EDTA} = V_{Sampel} \times \left[ \left( \frac{m_{CaCO_3}}{BM_{CaCO_3}} \right) \times \left( \frac{1000 \text{ ml}}{V_{CaCO_3 \text{ standar}}} \right) \right]$$

$$4,54 \times M_{EDTA} = 10 \text{ ml} \times \left[ \left( \frac{0,5 \text{ g}}{100 \text{ g/mol}} \right) \times \left( \frac{1000 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} \right) \right]$$

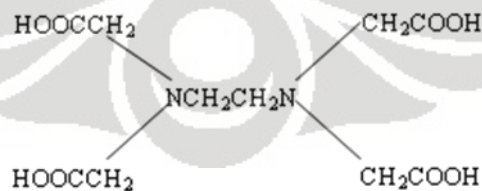
$$M_{EDTA} = 0,011 \text{ mol/l}$$

Sehingga ppm CaCO<sub>3</sub> adalah:

$$V_{EDTA \text{ sebelum sirkulasi}} = 4,56 \text{ ml}$$

$$V_{\text{sampel CaCO}_3} = 10 \text{ ml}$$

EDTA mempunyai struktur molekul sebagai berikut :

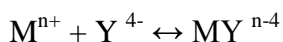


Dari struktur molekul tampak bahwa EDTA merupakan asam berbasas empat.

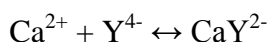
EDTA sering ditulis sebagai H<sub>4</sub>Y, EDTA mengalami pengionan bertahap



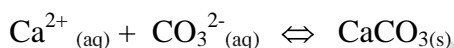
melepaskan ion hidrogen satu per satu. Pembentukan kelat antara logam (M) dengan EDTA (Y) dapat ditulis secara umum sebagai berikut:



Reaksi pembentukan kelat ion kalsium dengan EDTA adalah sebagai berikut:



Sementara itu reaksi pembentukan partikel  $CaCO_3$  adalah sebagai berikut:



Maka

$$mol_{EDTA} = mol_{CaCO_3}$$

$$V_{EDTA \text{ titrasi}} M_{EDTA} = mol_{CaCO_3}$$

$$V_{EDTA \text{ titrasi}} M_{EDTA} = \frac{m_{CaCO_3}}{BM_{CaCO_3}}$$

$$V_{EDTA \text{ titrasi}} M_{EDTA} = \frac{ppm_{CaCO_3}}{BM_{CaCO_3}} \frac{g}{1000mg} V_{CaCO_3}$$

$$ppm_{CaCO_3} = \frac{M_{EDTA} \times V_{EDTA} \times \frac{1000mg}{g} \times BM_{CaCO_3}}{V_{CaCO_3}}$$

$$\begin{aligned} ppm_{CaCO_3} &= \frac{\left[ \frac{0,011 \text{ mol}}{l} \right] \times 4,56 \text{ ml} \times \left( \frac{1000 \text{ mg}}{g} \right) \times \left( \frac{100g}{mol} \right)}{10} \\ &= 501,6 \text{ mg/l} \\ &= 501,6 \text{ ppm} \end{aligned}$$

- Perhitungan untuk sampel elektromagnet di titik kedua(0 jam) setelah sirkulasi pada variasi konsentrasi 0,01 M.

Diketahui :

Volume standarisasi larutan EDTA = 4,54 ml

Volume sampel = 10 ml

Volume  $CaCO_3$  standar induk dibuat dalam = 1000 ml

$BM_{CaCO_3}$  = 100 g/mol

$CaCO_3$  yang ditimbang untuk pembuatan standar = 0,5 g

Konsentrasi EDTA-nya sama dengan perhitungan pada titik awal (0 menit), yaitu 0,011 mol/l

Sehingga ppm  $CaCO_3$  adalah :



$$V_{EDTA} = 3,9 \text{ ml}$$

$$V_{CaCO_3} = 10 \text{ ml}$$

$$ppm_{CaCO_3} = \frac{[EDTA] \times V_{EDTA} \times BM_{CaCO_3} \times \left(\frac{1000 \text{ mg}}{g}\right)}{V_{CaCO_3}}$$

$$ppm_{CaCO_3} = \frac{\left[\frac{0,011 \text{ mol}}{l}\right] \times 3,9 \text{ ml} \times \left(\frac{100g}{mol}\right) \times \left(\frac{1000 \text{ mg}}{g}\right)}{10}$$

$$= 429 \text{ mg/l}$$

$$= 429 \text{ ppm}$$

dan persen presipitasi  $CaCO_3$  total adalah :

$$\begin{aligned} \%PresipitasiCaCO_3Total &= \frac{(ppm CaCO_3awal - ppm CaCO_3akhir)}{ppm CaCO_3awal} \times 100\% \\ &= \frac{(501,6 - 429)}{501,6} \times 100\% \\ &= 14,47\% \end{aligned}$$

## B. Data Hasil Titration Variasi Konsentrasi

Larutan sampel yang digunakan :  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  dengan konsentrasi 0,01 M, 0,015 M dan 0,02 M. Masing-masing 50 ml.

Volume standarisasi larutan EDTA = 4,54 ml

Berat  $\text{CaCO}_3$  standar = 0,5 g

Volume  $\text{CaCO}_3$  standar induk dibuat dalam = 1000 ml

### B.1 Perbandingan Konsentrasi Non-Treatment

#### B.1.1 Konsentrasi 0,01 M

Waktu (jam)	Volum EDTA(ml)	[EDTA] (mol/l)	ppm $\text{CaCO}_3$ (mg/l)	Presipitasi total (%)
0	4.56	0.011	501.6	0
1	4.46	0.011	490.6	2.192982456
6	4.28	0.011	470.8	6.140350877
24	4.2	0.011	462	7.894736842

#### B.1.2 Konsentrasi 0,015 M

Waktu (jam)	Volum EDTA(ml)	[EDTA] (mol/l)	ppm $\text{CaCO}_3$ (mg/l)	Presipitasi total (%)
0	6.7	0.011	737	0
1	6.42	0.011	706.2	4.179104478
6	6	0.011	660	10.44776119
24	5.5	0.011	605	17.91044776

#### B.1.3 Konsentrasi 0,02 M

Waktu (jam)	Volum EDTA(ml)	[EDTA] (mol/l)	ppm $\text{CaCO}_3$ (mg/l)	Presipitasi total (%)
0	8.4	0.011	924	0
1	7.76	0.011	853.6	7.619047619
6	7.12	0.011	783.2	15.23809524
24	6.66	0.011	732.6	20.71428571

### B.2 Perbandingan Konsentrasi Elektromagnetisasi dan Non-Elektromagnetisasi

Lama Sirkulasi = 10 menit

Laju Alir = 19,06 ml/s

#### B.2.1 Konsentrasi 0,01 M

- Sampel Elektromagnetisasi

Waktu (jam)	Volum	[EDTA]	ppm $\text{CaCO}_3$	Presipitasi total
-------------	-------	--------	---------------------	-------------------

	EDTA(ml)	(mol/l)	(mg/l)	(%)
Sebelum Sirkulasi	4.56	0.011	501.6	0
0	3.9	0.011	429	14.47368421
1	3.7	0.011	407	18.85964912
6	3.46	0.011	380.6	24.12280702
24	3.06	0.011	336.6	32.89473684

- Sampel Non-Elektromagnetisasi

Waktu (jam)	Volum EDTA(ml)	[EDTA] (mol/l)	ppm CaCO <sub>3</sub> (mg/l)	Presipitasi total (%)
Sebelum Sirkulasi	4.56	0.011	501.6	0
0	3.96	0.011	435.6	13.15789474
1	3.78	0.011	415.8	17.10526316
6	3.58	0.011	393.8	21.49122807
24	3.18	0.011	349.8	30.26315789

### B.2.2 Konsentrasi 0,015 M

- Sampel Elektromagnetisasi

Waktu (jam)	Volum EDTA(ml)	[EDTA] (mol/l)	ppm CaCO <sub>3</sub> (mg/l)	Presipitasi total (%)
Sebelum Sirkulasi	6.7	0.011	737	0
0	4.78	0.011	525.8	28.65671642
1	4.56	0.011	501.6	31.94029851
6	4.08	0.011	448.8	39.10447761
24	3.9	0.011	429	41.79104478

- Sampel Non Elektromagnetisasi

Waktu (jam)	Volum EDTA(ml)	[EDTA] (mol/l)	ppm CaCO <sub>3</sub> (mg/l)	Presipitasi total (%)
Sebelum Sirkulasi	6.7	0.011	737	0
0	4.8	0.011	528	28.35820896
1	4.6	0.011	506	31.34328358
6	4.34	0.011	477.4	35.2238806
24	4.1	0.011	451	38.80597015

### B.2.3 Konsentrasi 0,02 M

- Sampel Elektromagnetisasi

Waktu (jam)	Volum EDTA(ml)	[EDTA] (mol/l)	ppm CaCO <sub>3</sub> (mg/l)	Presipitasi total (%)
Sebelum Sirkulasi	8.4	0.011	924	0

0	5.32	0.011	585.2	36.66666667
1	4.92	0.011	541.2	41.42857143
6	4.42	0.011	486.2	47.38095238
24	4.1	0.011	451	51.19047619

- Sampel Non Elektromagnetisasi

Waktu (jam)	Volum EDTA(ml)	[EDTA] (mol/l)	ppm CaCO <sub>3</sub> (mg/l)	Presipitasi total (%)
Sebelum Sirkulasi	8.4	0.011	924	0
0	5.36	0.011	589.6	36.19047619
1	4.94	0.011	543.4	41.19047619
6	4.58	0.011	503.8	45.47619048
24	4.14	0.011	455.4	50.71428571

#### Keterangan:

Data sampel sebelum sirkulasi dimasukkan dalam tabel perhitungan namun tidak dimasukkan dalam semua grafik yang menggunakan *treatment* sirkulasi untuk menjaga kekonsistenan analisa. Pada grafik, hal yang dianalisa adalah presipitasi yang terjadi setelah sirkulasi.

#### C. Data Hasil Titrasi Variasi Lama Sirkulasi

Larutan sampel yang digunakan :

NaHCO <sub>3</sub> 0,01 M	= 50 ml
CaCl <sub>2</sub> 0,01 M	= 50 ml
Volume standarisasi larutan EDTA	= 4,54 ml
Berat CaCO <sub>3</sub> standar	= 0,5 g
Volume CaCO <sub>3</sub> standar induk dibuat dalam	= 1000 ml
Laju Alir	= 19,06 ml/s.

#### C.1 Lama Sirkulasi 10 Menit

- Sampel Elektromagnetisasi

Waktu (jam)	Volum EDTA(ml)	[EDTA] (mol/l)	ppm CaCO <sub>3</sub> (mg/l)	Presipitasi total (%)
Sebelum Sirkulasi	4.56	0.011	501.6	0
0	3.9	0.011	429	14.47368421
1	3.7	0.011	407	18.85964912
6	3.46	0.011	380.6	24.12280702

24	3.06	0.011	336.6	32.89473684
----	------	-------	-------	-------------

- Sampel Non-Elektromagnetisasi

Waktu (jam)	Volum EDTA(ml)	[EDTA] (mol/l)	ppm CaCO <sub>3</sub> (mg/l)	Presipitasi total (%)
Sebelum Sirkulasi	4.56	0.011	501.6	0
0	3.96	0.011	435.6	13.15789474
1	3.78	0.011	415.8	17.10526316
6	3.58	0.011	393.8	21.49122807
24	3.18	0.011	349.8	30.26315789

## C.2 Lama Sirkulasi 20 Menit

- Sampel Elektromagnetisasi

Waktu (jam)	Volum EDTA(ml)	[EDTA] (mol/l)	ppm CaCO <sub>3</sub> (mg/l)	Presipitasi total (%)
Sebelum Sirkulasi	4.56	0.011	501.6	0
0	3.78	0.011	415.8	17.10526316
1	3.34	0.011	367.4	26.75438596
6	3.18	0.011	349.8	30.26315789
24	2.9	0.011	319	36.40350877

- Sampel Non-Elektromagnetisasi

Waktu (jam)	Volum EDTA(ml)	[EDTA] (mol/l)	ppm CaCO <sub>3</sub> (mg/l)	Presipitasi total (%)
Sebelum Sirkulasi	4.56	0.011	501.6	0
0	3.86	0.011	424.6	15.35087719
1	3.5	0.011	385	23.24561404
6	3.38	0.011	371.8	25.87719298
24	3.04	0.011	334.4	33.33333333

### C.3 Lama Sirkulasi 40 Menit

- Sampel Elektromagnetisasi

Waktu (jam)	Volum EDTA(ml)	[EDTA] (mol/l)	ppm CaCO <sub>3</sub> (mg/l)	Presipitasi total (%)
Sebelum Sirkulasi	4.56	0.011	501.6	0
0	3.52	0.011	387.2	22.80701754
1	3.32	0.011	365.2	27.19298246
6	3.12	0.011	343.2	31.57894737
24	2.86	0.011	314.6	37.28070175

- Sampel Non-Elektromagnetisasi

Waktu (jam)	Volum EDTA(ml)	[EDTA] (mol/l)	ppm CaCO <sub>3</sub> (mg/l)	Presipitasi total (%)
Sebelum Sirkulasi	4.56	0.011	501.6	0
0	3.56	0.011	391.6	21.92982456
1	3.48	0.011	382.8	23.68421053
6	3.32	0.011	365.2	27.19298246
24	3	0.011	330	34.21052632

#### Keterangan:

Data sampel sebelum sirkulasi dimasukkan dalam tabel perhitungan namun tidak dimasukkan dalam semua grafik yang menggunakan *treatment* sirkulasi untuk menjaga kekonsistenan analisa. Pada grafik, hal yang dianalisa adalah presipitasi yang terjadi setelah sirkulasi.

#### D. Data Hasil Titrasi Laju Alir

Larutan sampel yang digunakan :

NaHCO <sub>3</sub> 0,01 M	= 50 ml
CaCl <sub>2</sub> 0,01 M	= 50 ml
Volume standarisasi larutan EDTA	= 4,54 ml
Berat CaCO <sub>3</sub> standar	= 0,5 g
Volume CaCO <sub>3</sub> standar induk dibuat dalam	= 1000 ml
Lama Sirkulasi	= 10 menit

### D.1 Laju Alir 10,74 ml/s

- Sampel Elektromagnetisasi

Waktu (jam)	Volum EDTA(ml)	[EDTA] (mol/l)	ppm CaCO <sub>3</sub> (mg/l)	Presipitasi total (%)
Sebelum Sirkulasi	4.56	0.011	501.6	0
0	3.94	0.011	433.4	13.59649123
1	3.74	0.011	411.4	17.98245614
6	3.58	0.011	393.8	21.49122807
24	3.16	0.011	347.6	30.70175439

- Sampel Non-Elektromagnetisasi

Waktu (jam)	Volum EDTA(ml)	[EDTA] (mol/l)	ppm CaCO <sub>3</sub> (mg/l)	Presipitasi total (%)
Sebelum Sirkulasi	4.56	0.011	501.6	0
0	3.98	0.011	437.8	12.71929825
1	3.8	0.011	418	16.66666667
6	3.62	0.011	398.2	20.61403509
24	3.24	0.011	356.4	28.94736842

### D.2 Laju Alir 19,06 ml/s

- Sampel Elektromagnetisasi

Waktu (jam)	Volum EDTA(ml)	[EDTA] (mol/l)	ppm CaCO <sub>3</sub> (mg/l)	Presipitasi total (%)
Sebelum Sirkulasi	4.56	0.011	501.6	0
0	3.9	0.011	429	14.47368421
1	3.7	0.011	407	18.85964912
6	3.46	0.011	380.6	24.12280702
24	3.06	0.011	336.6	32.89473684

- Sampel Non-Elektromagnetisasi

Waktu (jam)	Volum EDTA(ml)	[EDTA] (mol/l)	ppm CaCO <sub>3</sub> (mg/l)	Presipitasi total (%)
Sebelum Sirkulasi	4.56	0.011	501.6	0
0	3.96	0.011	435.6	13.15789474

1	3.78	0.011	415.8	17.10526316
6	3.58	0.011	393.8	21.49122807
24	3.18	0.011	349.8	30.26315789

### D.3 Laju Alir 34,37 ml/s

- Sampel Elektromagnetisasi

Waktu (jam)	Volum EDTA(ml)	[EDTA] (mol/l)	ppm CaCO <sub>3</sub> (mg/l)	Presipitasi total (%)
Sebelum Sirkulasi	4.56	0.011	501.6	0
0	3.8	0.011	418	16.66666667
1	3.6	0.011	396	21.05263158
6	3.22	0.011	354.2	29.38596491
24	2.8	0.011	308	38.59649123

- Sampel Non-Elektromagnetisasi

Waktu (jam)	Volum EDTA(ml)	[EDTA] (mol/l)	ppm CaCO <sub>3</sub> (mg/l)	Presipitasi total (%)
Sebelum Sirkulasi	4.56	0.011	501.6	0
0	3.9	0.011	429	14.47368421
1	3.7	0.011	407	18.85964912
6	3.4	0.011	374	25.43859649
24	3.04	0.011	334.4	33.33333333

#### Keterangan:

Data sampel sebelum sirkulasi dimasukkan dalam tabel perhitungan namun tidak dimasukkan dalam semua grafik yang menggunakan *treatment* sirkulasi untuk menjaga kekonsistenan analisa. Pada grafik, hal yang dianalisa adalah presipitasi yang terjadi setelah sirkulasi.

## E. Perhitungan Persen Kenaikan Presipitasi Relatif antara Sampel Elektromagnetisasi dan Non-Elektromagnetisasi

### E.1 Variasi Konsentrasi

- Waktu Presipitasi 0 jam



Sampel Larutan	Presipitasi CaCO <sub>3</sub> pada 0 jam presipitasi (%)		
	Konsentrasi sampel 0.01 M	Konsentrasi sampel 0.015 M	Konsentrasi sampel 0.02 M
Sampel Elektromagnetisasi(E)	14.47368421	28.65671642	36.66666667
Sampel Non-Elektromagnetisasi(NE)	13.15789474	28.35820896	36.19047619
Persen Kenaikan Presipitasi relatif: $100 \times (E-NE)/NE$	10	1.052631579	1.315789474

- Waktu Presipitasi 1 jam

Sampel Larutan	Presipitasi CaCO <sub>3</sub> pada 1 jam presipitasi (%)		
	Konsentrasi sampel 0.01 M	Konsentrasi sampel 0.015 M	Konsentrasi sampel 0.02 M
Sampel Elektromagnetisasi (E)	18.85964912	31.94029851	41.42857143
Sampel Non-Elektromagnetisasi (NE)	17.10526316	31.34328358	41.19047619
Persen Kenaikan Presipitasi relatif: $100 \times (E-NE)/NE$	10.25641026	1.904761905	0.578034682

- Waktu Presipitasi 6 jam

Sampel Larutan	Presipitasi CaCO <sub>3</sub> pada 6 jam presipitasi (%)		
	Konsentrasi sampel 0.01 M	Konsentrasi sampel 0.015 M	Konsentrasi sampel 0.02 M
Sampel Elektromagnetisasi (E)	24.12280702	39.10447761	47.38095238
Sampel Non-Elektromagnetisasi (NE)	21.49122807	35.2238806	45.47619048
Persen Kenaikan Presipitasi relatif: $100 \times (E-NE)/NE$	12.24489796	11.01694915	4.188481675

- Waktu Presipitasi 24 jam

Sampel Larutan	Presipitasi CaCO <sub>3</sub> pada 24 jam presipitasi (%)		
	Konsentrasi sampel 0.01 M	Konsentrasi sampel 0.015 M	Konsentrasi sampel 0.02 M
Sampel Elektromagnetisasi (E)	32.89473684	41.79104478	51.19047619
Sampel Non-Elektromagnetisasi (NE)	30.26315789	38.80597015	50.71428571

<b>Persen Kenaikan Presipitasi relatif: <math>100 \times (E-NE)/NE</math></b>	8.695652174	7.692307692	0.938967136
---	-------------	-------------	-------------

## E. 2 Variasi Lama Sirkulasi

- Waktu Presipitasi 0 jam

Sampel Larutan	Presipitasi CaCO <sub>3</sub> pada 0 jam presipitasi (%)		
	Lama sirkulasi 10 menit	Lama sirkulasi 0 menit	Lama Sirkulasi 40 menit
Sampel Elektromagnetisasi (E)	14.47368421	17.10526316	22.80701754
Sampel Non-Elektromagnetisasi (NE)	13.15789474	15.35087719	21.92982456
<b>Persen Kenaikan Presipitasi relatif: <math>100 \times (E-NE)/NE</math></b>	10	11.42857143	4

- Waktu Presipitasi 1 jam

Sampel Larutan	Presipitasi CaCO <sub>3</sub> pada 1 jam presipitasi (%)		
	Lama sirkulasi 10 menit	Lama sirkulasi 20 menit	Lama Sirkulasi 40 menit
Sampel Elektromagnetisasi (E)	18.85964912	26.75438596	27.19298246
Sampel Non-Elektromagnetisasi (NE)	17.10526316	23.24561404	23.68421053
<b>Persen Kenaikan Presipitasi relatif: <math>100 \times (E-NE)/NE</math></b>	10.25641026	15.09433962	14.81481481

- Waktu Presipitasi 6 jam

Sampel Larutan	Presipitasi CaCO <sub>3</sub> pada 6 jam presipitasi (%)		
	Lama sirkulasi 10 menit	Lama sirkulasi 20 menit	Lama Sirkulasi 40 menit
Sampel Elektromagnetisasi (E)	24.12280702	30.26315789	31.57894737
Sampel Non-Elektromagnetisasi (NE)	21.49122807	25.87719298	27.19298246
<b>Persen Kenaikan Presipitasi relatif: <math>100 \times (E-NE)/NE</math></b>	12.24489796	16.94915254	16.12903226

- Waktu Presipitasi 24 jam

Sampel Larutan	Presipitasi CaCO <sub>3</sub> pada 24 jam presipitasi (%)		
	Lama	Lama	Lama

	<b>sirkulasi 10 menit</b>	<b>sirkulasi 20 menit</b>	<b>Sirkulasi 40 menit</b>
<b>Sampel Elektromagnetisasi (E)</b>	32.89473684	36.40350877	37.28070175
<b>Sampel Non-Elektromagnetisasi (NE)</b>	30.26315789	33.33333333	34.21052632
<b>Persen Kenaikan Presipitasi relatif: <math>100 \times (E-NE)/NE</math></b>	8.695652174	9.210526316	8.974358974

### E.3 Variasi Laju Alir

- Waktu Presipitasi 0 jam

<b>Sampel Larutan</b>	<b>Presipitasi CaCO<sub>3</sub> pada 0 jam presipitasi (%)</b>		
	<b>Laju alir 10.74 ml/s</b>	<b>Laju alir 19.06 ml/s</b>	<b>Laju Alir 34.37 ml/s</b>
<b>Sampel Elektromagnetisasi (E)</b>	13.59649123	14.47368421	16.66666667
<b>Sampel Non-Elektromagnetisasi (NE)</b>	12.71929825	13.15789474	14.47368421
<b>Persen Kenaikan Presipitasi relatif: <math>100 \times (E-NE)/NE</math></b>	6.896551724	10	15.15151515

- Waktu Presipitasi 1 jam

<b>Sampel Larutan</b>	<b>Presipitasi CaCO<sub>3</sub> pada 1 jam presipitasi (%)</b>		
	<b>Laju alir 10.74 ml/s</b>	<b>Laju alir 19.06 ml/s</b>	<b>Laju Alir 34.37 ml/s</b>
<b>Sampel Elektromagnetisasi (E)</b>	17.98245614	18.85964912	21.05263158
<b>Sampel Non-Elektromagnetisasi (NE)</b>	16.66666667	17.10526316	18.85964912
<b>Persen Kenaikan Presipitasi relatif: <math>100 \times (E-NE)/NE</math></b>	7.894736842	10.25641026	11.62790698

- Waktu Presipitasi 6 jam

<b>Sampel Larutan</b>	<b>Presipitasi CaCO<sub>3</sub> pada 6 jam presipitasi (%)</b>		
	<b>Laju alir 10.74 ml/s</b>	<b>Laju alir 19.06 ml/s</b>	<b>Laju Alir 34.37 ml/s</b>
<b>Sampel Elektromagnetisasi (E)</b>	21.49122807	24.12280702	29.38596491
<b>Sampel Non-Elektromagnetisasi (NE)</b>	20.61403509	21.49122807	25.43859649
<b>Persen Kenaikan Presipitasi relatif: <math>100 \times (E-NE)/NE</math></b>	4.255319149	12.24489796	15.51724138

- Waktu Presipitasi 24 jam

<b>Sampel Larutan</b>	<b>Presipitasi CaCO<sub>3</sub> pada 24 jam presipitasi (%)</b>

	Laju alir 10.74 ml/s	Laju alir 19.06 ml/s	Laju Alir 34.37 ml/s
Sampel Elektromagnetisasi (E)	30.70175439	32.89473684	38.59649123
Sampel Non-Elektromagnetisasi (NE)	28.94736842	30.26315789	33.33333333
Persen Kenaikan Presipitasi relatif: $100 \times (E-NE)/NE$	6.060606061	8.695652174	15.78947368

### F. Perhitungan Kuat Medan Magnet Pada Selenoida

Persamaan untuk menghitung besarnya kuat medan magnetik yang dihasilkan oleh suatu selenoida dengan lilitan tertentu ialah

$$B = \mu n I$$

Dimana

$$\mu = k \cdot \mu_0$$

K = permeabilitas relatif bahan magnetik

$\mu_0$  = permeabilitas ruang hampa

$$n = \frac{N}{l}$$

n = jumlah lilitan

l = Panjang lilitan

Core yang digunakan sebagai tempat melilit kumparan ialah bahan berjenis tembaga dimana harga permeabilitas relative dari tembaga praktis memiliki permeabilitas yang sama dengan udara  $\approx 1$ . Sehingga berapapun ketebalan tembaga yang digunakan dapat dianggap diabaikan dalam perhitungan. Berikut ini adalah perhitungan untuk kumparan dengan 120 lilitan dan tegangan 12 volt.

$$\begin{aligned} B &= \frac{k\mu_0 NI}{l} \\ &= \frac{1 \times 4\pi 10^{-7} \times 120 \times 0,8 \cdot 10^{-3}}{7,5 \times 10^{-2}} \\ &= 1,608 \times 10^{-6} \text{ Tesla} \\ &= 0.016 \text{ Gauss} \end{aligned}$$

