



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH MEDAN ELEKTROMAGNETIK TERHADAP  
PRESIPITASI  $\text{CaCO}_3$  DAN KESADAHAN AIR PADA SISTEM  
FLUIDA DINAMIS  
STUDI KASUS: FREKUENSI, TEGANGAN DAN LILITAN**

**SKRIPSI**

**ANGGA S WIJAYA  
040506013X**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JULI 2009**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH MEDAN ELEKTROMAGNETIK TERHADAP  
PRESIPITASI  $\text{CaCO}_3$  DAN KESADAHAN AIR PADA SISTEM  
FLUIDA DINAMIS  
STUDI KASUS: FREKUENSI, TEGANGAN DAN LILITAN**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik**

**ANGGA S WIJAYA  
040506013X**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JULI 2009**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Angga S Wijaya**

**NPM : 040506013X**

**Tanda Tangan :** 

**Tanggal : 6 Juli 2009**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Angga S Wijaya  
NPM : 040506013X  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul Skripsi : Pengaruh Medan Elektromagnetik Terhadap  
Presipitasi  $\text{CaCO}_3$  dan Kesadahan Air pada  
Sistem Fluida Dinamis Studi Kasus Frekuensi,  
Tegangan dan Lilitan

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Nelson Saksono, MT

Penguji : Ir. Yuliusman, M.Eng

Penguji : Ir. Eva Fathul Karamah, MT



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 6 Juli 2009

## KATA PENGANTAR

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

1. Bapak Widodo Wahyu Purwanto, selaku Kepala Departemen Teknik Kimia UI sekaligus pembimbing akademik.
2. Bapak Nelson Saksono, atas bimbingan dan petunjuknya dalam penyusunan rancangan penelitian.
3. Bapak Arman Johan, atas bimbingan dan petunjuknya dalam penyusunan rancangan penelitian.
4. Seluruh pengajar Teknik Kimia FTUI yang telah memberikan bekal ilmu kepada penulis.
5. Bapak purnomo, Mas Eko dan Mas Heri yang selama ini telah membantu selama proses pengambilan data berlangsung.
6. Keluarga yang sangat penulis kasihi, Ibu, Bapak, Adik dan seluruh keluarga besar dari pihak bapak dan ibu yang selalu member dukungan berupa kasih sayang, semangat, perhatian dan doa.
7. Paman dan bibi, Edyana Suryana dan Rinny Kartini, yang selama ini telah membantu baik materil maupun imateril, semangat dan doa.
8. Martiningtyas, rekan penelitian yang selalu kompak selama penyusunan Skripsi ini.
9. Mas Malik, Mas Rois dan Andres yang selama ini telah membantu menyumbangkan ide, gagasan dan dukungannya hingga skripsi ini dapat terselesaikan.
10. Semua teman-teman Teknik Kimia UI angkatan 2005 yang selalu memberi dukungan dan doa.

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

Depok, 6 Juli 2009

Angga S Wijaya



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

---

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

Nama : Angga S Wijaya  
NPM : 040506013X  
Program Studi : Teknik Kimia  
Departemen : Teknik Kimia  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

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

**Pengaruh Medan Elektromagnetik Terhadap Presipitasi  $\text{CaCO}_3$  dan  
Kesadahan Air Studi Kasus Frekuensi, Tegangan dan Lilitan**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian Pernyataan saya ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 6 Juli 2009

Yang menyatakan



(Angga S Wijaya)

## ABSTRAK

Nama : Angga S Wijaya  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul : Pengaruh Medan Elektromagnetik Terhadap Presipitasi  $\text{CaCO}_3$   
dan Kesadahan Air pada Sistem Fluida Dinamis Studi Kasus :  
Frekuensi, Tegangan dan Lilitan

*Electromagnetic water treatment* merupakan salah satu metode yang berpotensi dikembangkan untuk mencegah terbentuknya kerak. Untuk itu, perlu adanya suatu penelitian untuk menguji pengaruh medan elektromagnetik terhadap pembentukan partikel dan jenis kristal  $\text{CaCO}_3$  guna mendapatkan suatu sistem yang efektif. Percobaan dilakukan dengan memvariasikan jumlah lilitan, frekuensi, tegangan, dan tipe konfigurasi dalam sistem. Metode analisis yang digunakan adalah titrasi EDTA dan SEM untuk mengukur konsentrasi dan melihat jenis kerak yang terjadi. Hasil percobaan menunjukkan bahwa medan elektromagnetik dapat memicu terbentuknya  $\text{CaCO}_3$  lebih besar daripada non elektromagnetik.

Kata Kunci:

Kesadahan, Presipitasi,  $\text{CaCO}_3$ , Kerak, Elektromagnetik.

## ABSTRACT

Name : Angga S Wijaya  
Majority : Chemical Engineering  
Title : The Effect of Electromagnetic Field toward  $\text{CaCO}_3$  Precipitation  
and Water Hardness at Fluid Dynamic System Case Study:  
Frequency, Voltage and Coil

Electromagnetic water treatment is one of methods that can be developed to prevent scale forming. Because of that, there must be a research using a dynamic system to test the effect of electromagnetic fields toward the production of particle and  $\text{CaCO}_3$  crystal type. This research is conducted by variation of coil amount and configuration, as well as device frequency and voltage, as used in the system. The methods of analysis include the EDTA titration to measure concentration of  $\text{Ca}^{2+}$  and SEM to see the type of scale produced. The result indicates that electromagnetic fields can be triggered to form a bigger  $\text{CaCO}_3$  than without electromagnetic fields.

Keyword:

Water Hardness, Precipitation,  $\text{CaCO}_3$ , Scale, Electromagnetic.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS ..	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR ..	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ..	vi
ABSTRAK .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR ..	xi
DAFTAR TABEL ..	xv
<b>1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah ..	3
1.5 Sistematika Penulisan ..	3
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA ..</b>	<b>5</b>
2.1 Air dan Mekanisme Pembentukan Kerak ( <i>scale</i> ) di Alam .....	5
2.2 Mekanisme Pembentukan Partikel CaCO <sub>3</sub> Tanpa Medan Magnet .....	6
2.2.1 Reaksi Kesetimbangan Pembentukan Partikel CaCO <sub>3</sub> .....	8
2.2.1.1 Model Presipitasi Lambat .....	8
2.2.1.2 Model Presipitasi Cepat .....	10
2.2.2 Mekanisme Presipitasi dan Terbentuknya Kristal CaCO <sub>3</sub> dalam Larutan ..	11
2.2.3 Mekanisme Presipitasi dan Terbentuknya Kristal CaCO <sub>3</sub> pada Deposit ..	12
2.2.4 Pengaruh Hidrodinamika Fluida Terhadap Proses Pembentukan CaCO <sub>3</sub> ..	14
2.3 Pembentukan Partikel CaCO <sub>3</sub> dalam Medan Magnet. ....	15
2.3.1 Interaksi Antar Partikel pada Sistem Koloid. ....	16
2.3.2 Efek Interaksi Sistem Ion dan Partikel pada Sistem Fluida Dinamik .....	17
2.4 Metode - Metode Pengolahan Air .....	18
2.4.1 Metode Pelembut Air Secara Kimiawi .....	18
2.4.2 Reverse Osmosis ..	19
2.4.3 Metode Pertukaran Ion ..	19
2.4.4 Magnetik Water Treatment ..	19
2.4.5 Elektromagnetik Water Treatment ..	21
2.4.5.1 Mekanisme Proses <i>Electromagnetic Water Treatment</i> ..	22
2.4.5.2 Desain Peralatan <i>Electromagnetic Water Treatment</i> .....	25
2.5 Medan Elektromagnetik ..	26
2.5.1 Asal Kemagnetan ..	26
2.5.2 Dipol Magnetik ..	26
2.5.3 Medan Magnetik ..	27
2.5.4 Medan Magnetik Disekitar Arus Listrik ..	27
2.5.5 Induksi Magnetik ..	27

2.5.6 Induktor .....	28
2.5.7 Sifat Magnetik Kumparan Berarus Listrik Solenoida ..	30
2.5.8 Gaya Tarik Magnet Didalam Kumparan Solenoida ..	31
<b>3. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>33</b>
3.1 Metode Penelitian .....	33
3.2 Diagram Alir Penelitian ..	35
3.3 Uji Coba Instrumen ..	35
3.4 Preparasi Alat dan Bahan .....	36
3.5 Prosedur Penelitian .....	37
3.5.1 Pembuatan Larutan Natrium Bikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ) 0,01 M .....	38
3.5.2 Pembuatan Larutan Kalsium Klorida ( $\text{CaCl}_2$ ) 0,01 M ..	38
3.5.3 Pembuatan Larutan EDTA 0,01 M .....	38
3.5.4 Pembuatan Larutan HCl 0,1 M ..	38
3.5.5 Pembuatan Larutan Buffer pH 10 .....	39
3.5.6 Pembuatan Larutan Standarisasi EDTA.....	39
3.5.7 Pembuatan Larutan Indikator Erio Black-T (EBT) 0,5% ..	39
3.6 Prosedur Pengujian .....	40
3.6.1 Prosedur Uji pada Larutan ( <i>Homogenous Precipitation</i> ).....	40
3.6.1.1 Frekuensi .....	40
3.6.1.2 Besarnya Tegangan .....	40
3.6.1.3 Jumlah Lilitan .....	41
3.6.1.4 Jenis Konfigurasi Lilitan .....	42
3.6.1.5 Tanpa Menggunakan Medan Elektromagnetik ..	43
3.6.2 Prosedur Uji pada Endapan ( <i>Heterogenous Precipitation</i> ) .....	43
3.6.2.1 Frekuensi .....	43
3.6.2.2 Besarnya Tegangan .....	44
3.6.2.3 Jumlah Lilitan ..	45
3.6.2.4 Jenis Konfigurasi Lilitan .....	46
3.6.2.5 Tanpa Menggunakan Medan Elektromagnetik ..	47
3.7 Prosedur Analisis .....	47
3.7.1 Analisis Presipitasi $\text{CaCO}_3$ dengan Titrasi Kompleksometri EDTA ...	47
3.7.1.1 Standarisasi Larutan EDTA .....	48
3.7.1.2 Analisis Sampel Larutan .....	48
3.7.2 Uji Foto Mikroskopik dengan SEM ... ..	49
3.8 Pengolahan Data .....	50
3.8.1 Standarisasi EDTA 0,1 M ..	50
3.8.2 Perhitungan Konsentrasi $\text{CaCO}_3$ yang Terbentuk Dalam ppm .....	50
<b>4. PEMBAHASAN .....</b>	<b>52</b>
4.1 Presipitasi $\text{CaCO}_3$ Total ..	52
4.1.1 Variasi Frekuensi ..	53
4.1.2 Variasi Tegangan ..	57
4.1.3 Variasi Jumlah Lilitan ..	60
4.1.4 Variasi Konfigurasi Lilitan ..	63
4.2 Morfologi dan Populasi Partikel $\text{CaCO}_3$ dari Hasil SEM.....	68
4.2.1 Variasi Frekuensi ..	69
4.2.2 Variasi Tegangan ..	72

4.2.3 Variasi Jumlah Lilitan .....	74
4.2.4 Variasi Konfigurasi Lilitan .....	76
<b>5. KESIMPULAN ... ..</b>	<b>79</b>
<b>REFERENSI ... ..</b>	<b>81</b>
<b>LAMPIRAN ... ..</b>	<b>84</b>



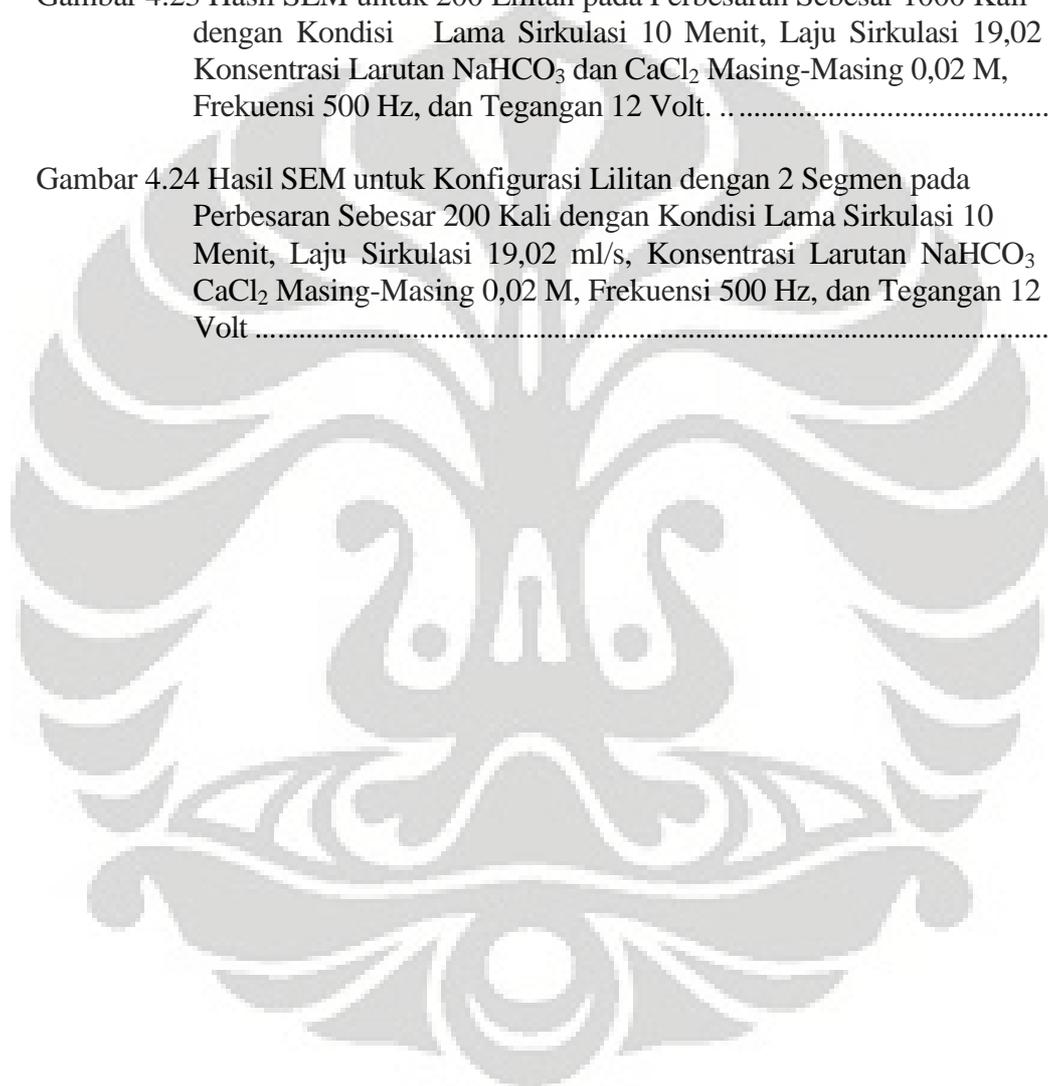
## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Siklus Kontaminasi dan Purifikasi .....	5
Gambar 2.2 Mekanisme Pengendapan <i>Scale</i> .....	7
Gambar 2.3 Efek Perubahan pH Terhadap Fraksi $\text{CO}$ , $2\text{HCO}^{3-}$ , $\text{CO}_2$ dalam Larutan .....	10
Gambar 2.4 Gambar SEM pada Permukaan Logam Emas untuk Presipitasi Selama (a) 1 Menit, (b) 3 Menit, (c) 8 Menit dan (d) 1,5 Jam pada Suhu $25^\circ\text{C}$ , $\omega = 300$ rpm.....	14
Gambar 2.5 Orientasi Molekul Air Terhadap Ion $\text{Ca}^{2+}$ dan $\text{CO}_2$ pada Air Sadah ...	15
Gambar 2.6 Rasio Penurunan Ion Ca Sesudah Magnetisasi dan Sebelum Magnetisasi di Larutan pada Proses Magnetisasi Larutan $\text{CaCO}_3$ pada Berbagai Kecepatan Larutan. ....	18
Gambar 2.7 Diagram Operasi Elektromagnetik Treatment dengan Unit OCEG ...	22
Gambar 2.8 Diagram Skema Presipitasi $\text{CaCO}_3$ Melalui Proses Elektromagnetik Treatment .....	22
Gambar 2.9 Profil Energi Bebas Gibbs pada Tiga Rasio Derajat Saturasi yang Berbeda .....	24
Gambar 2.10 Desain Peralatan Elektromagnetik Treatment .....	26
Gambar 2.11 Garis-Garis Gaya Magnetik pada Magnet Batang .....	27
Gambar 2.12 Penampang Induktor .....	29
Gambar 2.13 Arah Garis Gaya dengan Kaidah Tangan Kanan .....	30
Gambar 2.14 Arah Garis-Garis Gaya Magnetik Pada Kumparan Solenoida .....	30
Gambar 2.15 Solenoida dengan Inti Kumparan .....	31
Gambar 2.16 Arah Gaya Tarik Magnet Terhadap Kuat Medan Magnet yang Lebih Besar .....	32
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	34
Gambar 3.2 Skema Alat .....	36
Gambar 3.3 Penampang Koil Solenoida .....	36

Gambar 3.4 Konfigurasi Lilitan Berturut-turut 1, 2 dan 3 <i>Coil</i> .....	42
Gambar 3.5 Preparasi Larutan untuk Uji SEM ... ..	44
Gambar 3.6 Analisis Sampel Titrasi Kompleksimetri EDTA Sebelum Titrasi (merah) dan Setelah Titrasi (biru). ..	48
Gambar 3.7 Vacuum Rubber Seal .....	49
Gambar 3.8 Seperangkat Alat SEM .....	50
Gambar 4.1 Pengaruh Frekuensi terhadap Presipitasi $\text{CaCO}_3$ Total dengan Waktu Presipitasi 0 Sampai 1500 Menit dengan Kondisi Tegangan 12 Volt, 150 Lilitan, Konfigurasi Lilitan Dibuat Tanpa Segmen (1 <i>coil</i> ), Lama Sirkulasi 10 Menit, Laju Sirkulasi 19,02 ml/s dan Konsentrasi Larutan $\text{NaHCO}_3$ dan $\text{CaCl}_2$ Masing-Masing 0,02 M .....	53
Gambar 4.2 Pengaruh Frekuensi terhadap Presipitasi $\text{CaCO}_3$ Total Sesaat Setelah Sirkulasi .....	55
Gambar 4.3 Pengaruh Tegangan terhadap Presipitasi $\text{CaCO}_3$ Total dengan Waktu Presipitasi 0 Sampai 1500 Menit dengan Kondisi Lama Sirkulasi 10 Menit, Laju Sirkulasi 19,02 ml/s, Konsentrasi Larutan $\text{NaHCO}_3$ dan $\text{CaCl}_2$ Masing-Masing 0,02 M, Frekuensi 500 Hz, Jumlah Lilitan 150 Lilitan, dan Konfigurasi Lilitan Tanpa Segmen .....	57
Gambar 4.4 Pengaruh Tegangan terhadap Presipitasi $\text{CaCO}_3$ Total Sesaat Setelah Sirkulasi .....	58
Gambar 4.5 Pengaruh Jumlah Lilitan terhadap Presipitasi $\text{CaCO}_3$ Total dengan Kondisi Lama Sirkulasi 10 Menit, Laju Sirkulasi 19,02 ml/s, Konsentrasi Larutan $\text{NaHCO}_3$ dan $\text{CaCl}_2$ Masing-Masing 0,02 M, Frekuensi 500 Hz, Tegangan 12 Volt, dan Konfigurasi Lilitan Tanpa Segmen .....	60
Gambar 4.6 Fluks Medan Magnetik Setiap Lilitan pada Suatu Solenoida ... ..	61
Gambar 4.7 Fluks Medan Magnetik pada Suatu Solenoida ... ..	62
Gambar 4.8 Pengaruh Jumlah Lilitan terhadap Presipitasi $\text{CaCO}_3$ Total Sesaat Setelah Sirkulasi .....	63
Gambar 4.9 Model Penampang Konfigurasi Lilitan ... ..	64
Gambar 4.10 Pengaruh Konfigurasi Lilitan terhadap Presipitasi $\text{CaCO}_3$ Total dengan Kondisi Lama Sirkulasi 10 Menit, Laju Sirkulasi 19,02 ml/s, Konsentrasi Larutan $\text{NaHCO}_3$ dan $\text{CaCl}_2$ Masing-Masing 0,02 M, Frekuensi 500 Hz, dan Tegangan 12 volt. ....	64

Gambar 4.11 Konfigurasi Lilitan .....	66
Gambar 4.12 Garis-Garis Gaya pada Kumbaran dengan Satu Segmen .....	66
Gambar 4.13 Interaksi Molekul Setelah Melewati Kumbaran.....	67
Gambar 4.14 Pengaruh Konfigurasi Lilitan terhadap Presipitasi $\text{CaCO}_3$ Total Sesaat Setelah Sirkulasi ... ..	68
Gambar 4.15 Hasil SEM untuk Frekuensi 500 Hz pada Perbesaran Sebesar 1000 Kali pada Kondisi Tegangan 12 Volt, 150 Lilitan, Konfigurasi Lilitan Dibuat Tanpa Segmen (1 Coil), Lama Sirkulasi 10 Menit, Laju Sirkulasi 19,02 ml/s dan Konsentrasi Larutan $\text{NaHCO}_3$ dan $\text{CaCl}_2$ Masing-Masing 0,02 M .....	69
Gambar 4.16 Hasil SEM Untuk Frekuensi 500 Hz pada Perbesaran Sebesar 200 Kali dengan Kondisi Tegangan 12 Volt, 150 Lilitan, Konfigurasi Lilitan Dibuat Tanpa Segmen (1 coil), Lama Sirkulasi 10 Menit, Laju Sirkulasi 19,02 ml/s dan Konsentrasi Larutan $\text{NaHCO}_3$ dan $\text{CaCl}_2$ Masing-Masing 0,02 M ... ..	70
Gambar 4.17 Hasil SEM untuk Frekuensi 8000 Hz pada Perbesaran Sebesar 1000 Kali dengan Kondisi Tegangan 12 Volt, 150 Lilitan, Konfigurasi Lilitan Dibuat Tanpa Segmen (1 Coil), Lama Sirkulasi 10 Menit, Laju Sirkulasi 19,02 ml/s dan Konsentrasi Larutan $\text{NaHCO}_3$ dan $\text{CaCl}_2$ Masing-Masing 0,02 M ... ..	71
Gambar 4.18 Hasil SEM untuk Frekuensi 8000 Hz pada Perbesaran Sebesar 200 Kali dengan Kondisi Tegangan 12 Volt, 150 Lilitan, Konfigurasi Lilitan Dibuat Tanpa Segmen (1 Coil), Lama Sirkulasi 10 Menit, Laju Sirkulasi 19,02 ml/s dan Konsentrasi Larutan $\text{NaHCO}_3$ dan $\text{CaCl}_2$ Masing-Masing 0,02 M ... ..	72
Gambar 4.19 Hasil SEM untuk Tegangan 6 Volt pada Perbesaran Sebesar 1000 Kali dengan Kondisi Lama Sirkulasi 10 Menit, Laju Sirkulasi 19,02 ml/s, Konsentrasi Larutan $\text{NaHCO}_3$ dan $\text{CaCl}_2$ Masing-Masing 0,02 M, Frekuensi 500 Hz, Jumlah Lilitan 150 Lilitan, Konfigurasi Lilitan Tanpa Segmen .....	73
Gambar 4.20 Hasil SEM untuk Tegangan 6 V pada Perbesaran Sebesar 200 Kali dengan Kondisi Lama Sirkulasi 10 Menit, Laju Sirkulasi 19,02 ml/s, Konsentrasi Larutan $\text{NaHCO}_3$ dan $\text{CaCl}_2$ Masing-Masing 0,02 M, Frekuensi 500 Hz, Jumlah Lilitan 150 Lilitan, Konfigurasi Lilitan Tanpa Segmen ... ..	74
Gambar 4.21 Hasil SEM untuk 200 Lilitan pada Perbesaran Sebesar 1000 Kali dengan Kondisi Lama Sirkulasi 10 Menit, Laju Sirkulasi 19,02 ml/s, Konsentrasi Larutan $\text{NaHCO}_3$ dan $\text{CaCl}_2$ Masing-Masing 0,02 M,	

Frekuensi 500 Hz, Tegangan 12 Volt, dan Konfigurasi Lilitan Tanpa Segmen .....	75
Gambar 4.22 Hasil SEM untuk 200 Lilitan pada Perbesaran Sebesar 200 Kali dengan Kondisi Lama Sirkulasi 10 Menit, Laju Sirkulasi 19,02 ml/s, Konsentrasi Larutan $\text{NaHCO}_3$ dan $\text{CaCl}_2$ Masing-Masing 0,02 M, Frekuensi 500 Hz, Tegangan 12 Volt, dan Konfigurasi Lilitan Tanpa Segmen .....	76
Gambar 4.23 Hasil SEM untuk 200 Lilitan pada Perbesaran Sebesar 1000 Kali dengan Kondisi Lama Sirkulasi 10 Menit, Laju Sirkulasi 19,02 ml/s, Konsentrasi Larutan $\text{NaHCO}_3$ dan $\text{CaCl}_2$ Masing-Masing 0,02 M, Frekuensi 500 Hz, dan Tegangan 12 Volt. ....	77
Gambar 4.24 Hasil SEM untuk Konfigurasi Lilitan dengan 2 Segmen pada Perbesaran Sebesar 200 Kali dengan Kondisi Lama Sirkulasi 10 Menit, Laju Sirkulasi 19,02 ml/s, Konsentrasi Larutan $\text{NaHCO}_3$ dan $\text{CaCl}_2$ Masing-Masing 0,02 M, Frekuensi 500 Hz, dan Tegangan 12 Volt .....	78



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tingkatan Kesadahan Air .....	6
Tabel 2.2 Nilai supersaturasi ( $\delta_s$ ) pada Beberapa Tingkat Kesadahan dan pH pada Suhu 25 °C. ....	9
Tabel 2.3 Data Termodinamik Reaksi Pembentukan $\text{CaCO}_3$ .....	13



# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Air di alam mempunyai kandungan anion dan kation hasil kontak dengan senyawa lain di alam. Kandungan ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) di dalam air adalah salah satu sumber kesadahan, sehingga berujung pada kebutuhan sabun yang lebih banyak pada proses pembersihan alat. Selain itu ion kalsium juga dapat mengendap dalam senyawaan  $\text{CaCO}_3$  membentuk *scale* (kerak). Terbentuknya *scale* khususnya pada peralatan industri dapat menyebabkan kerugian yang cukup besar. *Scale* dapat mengurangi kecepatan aliran dalam pipa, meningkatkan konsumsi energi pompa dan mengurangi transfer panas pada *heat exchanger*.

Metoda pengolahan air yang umum digunakan untuk mengontrol terbentuknya *scale* adalah dengan penambahan bahan kimia. Metode ini meskipun efektif namun mempunyai dampak negatif, karena penambahan bahan kimia dapat merubah komposisi kimiawi dari larutan secara permanen. Contoh dari bahan kimia yang digunakan untuk mengontrol terbentuknya *scale* adalah polifosfat. Pemberian senyawa polifosfat ini biasanya bersifat kontinu dan secara akumulatif dapat menjadi tidak ekonomis. Selain itu polifosfat dalam jangka panjang dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan dan air hasil pengolahannya akan berbahaya bagi kesehatan manusia. Berdasarkan pertimbangan tersebut, saat ini banyak usaha yang dilakukan untuk mengembangkan suatu metode pengolahan secara fisik seperti ultrasonik, radiasi ultraviolet, magnetik dan elektromagnetik.

Metode pengolahan air sadah secara fisik dengan menggunakan medan elektromagnetik memberikan suatu keuntungan tersendiri karena dampaknya yang tidak menimbulkan perubahan kimia terhadap produk air yang diolah serta biaya pemeliharaan dan operasionalnya yang relatif rendah.

Saat ini penelitian tentang pengolahan air dengan menggunakan medan elektromagnetik telah mengalami perkembangan yang lebih menjanjikan dibanding pengolahan air sadah secara fisik lainnya. Prinsip kerja alat ini adalah dengan memberikan medan listrik dengan frekuensi tertentu pada aliran air sadah

melalui sebuah kumparan dengan lilitan tertentu sehingga dapat mendorong terjadi proses presipitasi  $\text{CaCO}_3$ . Hasil penelitian terkini menunjukkan bahwa penggunaan medan elektromagnetik pada air sadah mampu meningkatkan pembentukan jumlah partikel  $\text{CaCO}_3$  hingga 540 % (Leonard, Tijing, Choon, Baek, Lee, & Cho, 2007) apabila dibandingkan dengan tanpa medan elektromagnetik. Namun sebagian besar *paper* dibidang ini tidak menjelaskan tentang spesifikasi alat yang digunakan untuk menghasilkan medan elektromagnetik karena berkaitan dengan teknologi yang dipatenkan. Selain itu, sampai saat ini penelitian hanya terfokus pada variasi variabel operasi seperti laju alir, konsentrasi, pH, lamanya sirkulasi dan lain-lain. Ada satu faktor penting yang mempengaruhi laju presipitasi  $\text{CaCO}_3$  yang perlu diteliti dan dikaji lebih jauh yaitu tentang variabel proses seperti jumlah lilitan, frekuensi, besarnya tegangan, dan konfigurasi lilitan yang digunakan dalam sistem. Dimana keefektifan alat dan konfigurasi yang optimum dari variabel tersebut akan sangat mempengaruhi laju presipitasi  $\text{CaCO}_3$  dari air sadah.

Dalam penelitian ini, proses pengolahan air dengan menggunakan medan elektromagnetik akan dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama adalah proses induksi medan listrik pada air sadah dengan sistem sirkulasi fluida dinamik yang dilakukan guna menekan jumlah ion  $\text{Ca}^{2+}$  dengan mempercepat proses presipitasinya menjadi  $\text{CaCO}_3$ . Tahap kedua adalah proses pengendapan guna melihat laju presipitasi  $\text{CaCO}_3$  yang terjadi setelah proses *treatment* dihentikan dan dilakukan pula proses pengamatan kecenderungan pembentukan tipe kristal  $\text{CaCO}_3$  pada beberapa sampel uji. Sifat ion-ion dari air sadah hasil pengolahan ini akan diamati kemampuan presipitasinya. Proses ini diharapkan dapat langsung diterapkan pada pengolahan air sadah baik untuk rumah tangga maupun industri. Untuk itu diperlukan studi dan penelitian intensif guna mendapatkan disain alat yang efektif maupun kondisi operasi optimum guna menghasilkan produk yang diharapkan.

## 1.2 Perumusan Masalah

Masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh medan elektromagnetik terhadap pembentukan partikel dan jenis kristal  $\text{CaCO}_3$

menggunakan sistem sirkulasi dinamis. Beberapa variabel proses yang meliputi jumlah lilitan, frekuensi, besarnya tegangan dan konfigurasi lilitan perlu diuji untuk lebih memperjelas pengaruhnya terhadap proses pengolahan air sadah dengan menggunakan medan elektromagnetik pada larutan air sadah.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menguji pengaruh medan elektromagnetik terhadap pembentukan partikel dan jenis kristal  $\text{CaCO}_3$  menggunakan sistem dinamis sirkulasi.
2. Menguji pengaruh variabel proses yang meliputi jumlah lilitan, frekuensi, besarnya tegangan dan konfigurasi lilitan terhadap proses pengolahan air dengan menggunakan medan elektromagnetik pada larutan air sadah.

### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah

1. Percobaan menggunakan sistem dinamis sirkulasi.
2. Percobaan menggunakan larutan sintetik yang mengandung  $\text{CaCO}_3$  yaitu larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$ .
3. Medan magnet yang digunakan berasal dari induksi medan listrik dari suatu selenoida.
4. Percobaan dilakukan menggunakan selang fleksibel silikon dan pipa tembaga sebagai tempat lilitan selenoida.
5. Tabung yang digunakan untuk presipitasi berbahan kaca / pyrex.
6. Variabel yang divariasikan adalah jumlah lilitan, frekuensi, besarnya tegangan dan konfigurasi lilitan yang terdapat pada peralatan *electromagnetic water treatment*.

### 1.5 Sistematika Penulisan

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

- BAB 1           PENDAHULUAN  
Menerangkan latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

- BAB 2            TINJAUAN PUSTAKA**  
Berisi tinjauan pustaka yang menjelaskan secara umum mengenai proses pembentukan kerak dan beberapa metoda pengolahan air untuk mengurangi kesadahan air.
- BAB 3            METODE PENELITIAN**  
Menjelaskan tentang prosedur kerja yang dilakukan untuk menguji pengaruh variabel proses seperti jumlah lilitan, frekuensi, besarnya tegangan dan konfigurasi lilitan serta alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian dan metoda analisis yang digunakan.
- BAB 4            HASIL DAN PEMBAHASAN**  
Bab ini meliputi pembahasan data percobaan dan analisis hasil penelitian.
- BAB 5            KESIMPULAN DAN SARAN**
- REFERENSI**

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Air dan Mekanisme Pembentukan Kerak (*scale*) di Alam

Air adalah senyawa yang tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau. Air murni sangat jarang didapat dan sulit dipertahankan. Hal ini dikarenakan air merupakan pelarut yang universal. Air sering terkontaminasi oleh kontak dengan senyawa lain di alam dan air juga mengalami repurifikasi ketika air menguap kemudian membentuk awan akibat panas matahari. Ketika awan tersebut berkontak dengan arus udara yang dingin maka akan terkondensasi membentuk hujan. Gambar 2.1 menunjukkan siklus yang terjadi pada air di alam.



Gambar 2.1 Siklus Kontaminasi dan Purifikasi  
([www.ga.water.usgs.gov](http://www.ga.water.usgs.gov))

Terjadi proses pelarutan ketika air yang jatuh ke permukaan tanah berkontak dengan mineral dan logam di dalam tanah. Proses pelarutan ini meningkat dengan adanya gas terlarut di dalam air, seperti  $\text{CO}_2$  dan  $\text{O}_2$ .

Komposisi kimiawi dari air terkait erat dengan wilayah geografis. Air dengan kesadahan yang tinggi (*hard water*) didapatkan pada area dimana terdapat banyak *limestone* (kalsium karbonat) dan *gypsum* (kalsium sulfat) (Powell, 1954). Tabel 2.1 memperlihatkan beberapa tingkat kesadahan air.

Air sadah banyak menimbulkan masalah teknis dan ekonomis dalam penggunaannya. Rendahnya efektivitas proses pencucian dan meningkatnya konsumsi sabun serta terbentuknya *scale* pada sistem perpipaan merupakan permasalahan klasik yang sering terjadi akibat kandungan ion Ca yang tinggi pada air sadah.

Tabel 2.1 Tingkatan Kesadahan Air

Tingkat kesadahan	Kesadahan (mg/l ion Ca <sup>2+</sup> )
Soft	0 - 17
Slightly hard	17 - 60
Moderately hard	60 - 120
Hard	120 - 180
Very hard	> 180

(www.hardwater.org)

*Scale* dapat merugikan, khususnya pada bidang industri. *Scale* dapat mengurangi kecepatan aliran dalam pipa, meningkatkan konsumsi energi pada pompa dan mengurangi transfer panas pada *heat exchanger* ataupun evaporator. *Scale* juga dapat mengendap pada permukaan generator uap, kondenser, ataupun pada rongga jaket mesin pembakar sehingga mengurangi efisiensi dan umur alat.

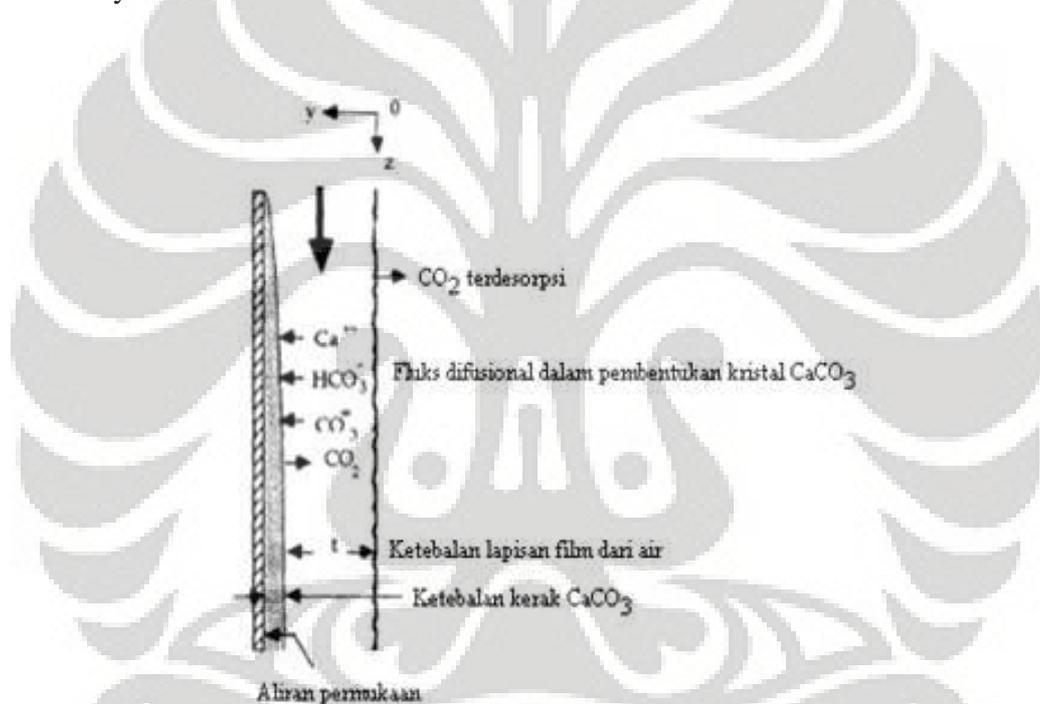
## 2.2 Mekanisme Pembentukan Partikel CaCO<sub>3</sub> Tanpa Medan Magnet

*Scale* dapat terbentuk pada bagian larutan maupun pada bagian permukaan. Keduanya mempunyai perbedaan karakteristik dimana pada bagian larutan yang terjadi adalah *homogenous precipitation*. Sedangkan pada permukaan yang terjadi adalah *heterogenous precipitation*. *Homogenous precipitation* adalah proses pembentukan fasa padat yang tidak dipengaruhi oleh zat padat dari senyawa lain, sedangkan *heterogenous precipitation* adalah proses pembentukan zat padat yang dikatalisasi oleh adanya interaksi dengan zat padat yang lainnya.

Mekanisme pembentukan *scale* sering diterangkan oleh suatu proses yang meliputi pemutusan mineral, supersaturasi, nukleasi, presipitasi, pertumbuhan kristal dan akhirnya membentuk *scale*. Mekanisme pembentukan *scale* dikendalikan oleh banyak variabel yang meliputi temperatur cairan, temperatur permukaan, kecepatan

aliran, tekanan, pH, dan lain lain. Masing - masing variabel ini mempengaruhi daya larut dari ion mineral yang selanjutnya akan membentuk *scale*.

Ketika temperatur naik, tekanan turun, dan pH naik dalam sistem aliran maka daya larut kalsium karbonat dalam larutan akan berkurang, selanjutnya ion kalsium dan ion bikarbonat berpresipitasi untuk membentuk kristal  $\text{CaCO}_3$ . Hal ini terjadi pada umumnya di atas permukaan *heat transfer* sebab di dalam *heat transfer* temperatur air secara tiba-tiba berubah ketika air melalui permukaan *heat transfer*. Gambar 2.2 mengilustrasikan mekanisme pembentukan kerak, dimana ketika air sadah kehilangan gas  $\text{CO}_2$  maka kerak akan mengendap pada media permukaan yang dilewatinya.



Gambar 2.2 Mekanisme Pengendapan *Scale*  
(Hasson, Semiat, Litnoni-Relis, & Bramson, 1996)

Jenis kristal  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk merupakan parameter penting dalam proses pembentukan *scale*. *Scale* di alam membentuk polimorf yang berbeda-beda yaitu kalsit, vaterit dan aragonit. Kalsit diasosiasikan sebagai *hard scale* yaitu jenis kerak yang sulit dihilangkan pada permukaan sedangkan vaterit dan aragonit diasosiasikan sebagai *soft scale* dimana jenis ini mudah dihilangkan. Kalsit adalah fase kristal yang paling stabil dan terbentuk pada tekanan atmosferik. Dua struktur yang lain yaitu aragonit dan vaterit terbentuk dalam fase yang metastabil.

## 2.2.1 Reaksi Kestimbangan Pembentukan Partikel CaCO<sub>3</sub>

### 2.2.1.1 Model Presipitasi Lambat

Air tanah banyak mengandung mineral-mineral terlarut seperti kation Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, bikarbonat (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), gas CO<sub>2</sub>, dan lainnya yang menyebabkan kesadahan pada air. CO<sub>2</sub> merupakan gas yang mudah terlepas dari air tanah. Lepasnya CO<sub>2</sub> ini akan menyebabkan pH larutan menjadi naik. Dengan naiknya pH akibat lepasnya CO<sub>2</sub> ke fasa gas, maka akan terjadi suatu reaksi kesetimbangan pembentukan CaCO<sub>3</sub>. Berikut ini adalah reaksi kesetimbangan presipitasi CaCO<sub>3</sub> :



Proses presipitasi CaCO<sub>3</sub> ini mempunyai hubungan yang erat dengan tingkat kejenuhan (supersaturasi) dari air sadah. Semakin besar tingkat kejenuhan maka presipitasi CaCO<sub>3</sub> akan semakin besar. Harga supersaturasi ( $\delta_s$ ) dari larutan merupakan fungsi dari kelarutan (Ksp), konsentrasi ion Ca<sup>2+</sup> dan konsentrasi ion CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> dilarutan sebagai berikut

$$\delta_s = \frac{(C^{2+})(CO_3^{2-})}{K_{sp}} \quad (2.4)$$

Harga Ksp CaCO<sub>3</sub> kalsit pada suhu 25 °C adalah 8,7x10<sup>-9</sup> dan harga konsentrasi Ca<sup>2+</sup> dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.1 dengan prinsip kesetimbangan. Sedangkan konsentrasi (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) dapat dihitung dengan persamaan (2-5) (Knez & Ciril, 2005) :

$$(CO_3^{2-}) = 5.6.10^{-11} (HCO_3^{-})/10^{pH} \quad (2.5)$$

Fathi mendapatkan bahwa proses pembentukan inti CaCO<sub>3</sub> secara spontan di larutan (*homogenuos nucleation*) membutuhkan harga supersaturasi  $\delta_s = \delta_{kritis}$  sebesar 40 dan di permukaan (deposit)  $\delta_s = \delta_{kritis}$  sebesar 20 dimana presipitasi baru mulai terjadi pada pH 8,5 untuk konsentrasi CaCO<sub>3</sub> sebesar 400 ppm (Fathi, Tlili, Gabrielli, Maurin, & Ben, 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 pada 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, Tlili, Gabrielli, Maurin, &amp; Ben, 2006)

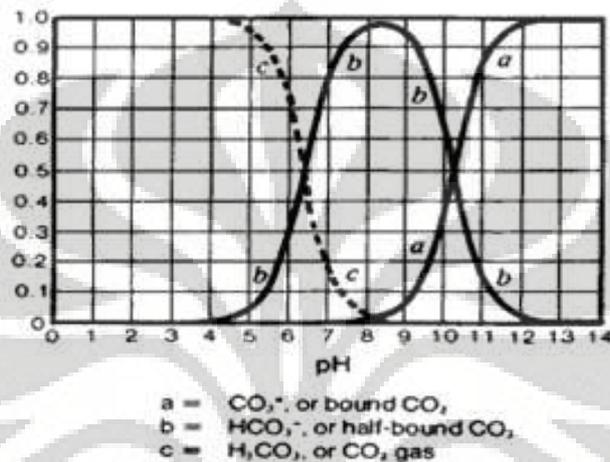
Larutan CaCO<sub>3</sub> didapat dengan melarutkan CaCO<sub>3</sub> bubuk dalam air dan mengalirkan gelembung gas CO<sub>2</sub> kedalamnya. CO<sub>2</sub> disini berfungsi untuk mempercepat kelarutan dari CaCO<sub>3</sub> di dalam air. Larutan CaCO<sub>3</sub> yang dihasilkan bersifat asam (pH : 5,5 - 6,5) dan akan meningkat mendekati pH iso-elektrik kalsit yaitu sekitar 8,4 seiring dengan meningkatnya kejenuhan larutan CaCO<sub>3</sub>.

Selain itu, model larutan CaCO<sub>3</sub> juga dapat diperoleh dengan mencampurkan larutan NaHCO<sub>3</sub> dan larutan CaCl<sub>2</sub> dengan konsentrasi tertentu. Proses presipitasi dengan menggunakan larutan NaHCO<sub>3</sub> dan CaCl<sub>2</sub> akan berlangsung lambat, sehingga proses presipitasinya dapat lebih diamati dan lebih mendekati proses pembentukan kerak sesungguhnya terjadi di alam. Larutan NaHCO<sub>3</sub> memiliki nilai pH sebesar 8,8. Fraksi HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> pada larutan sebesar 95% dan CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 5% untuk nilai pH 8,8 (Kemmer, 1988). Artinya pada harga pH tersebut ion yang ada dalam larutan didominasi oleh HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> bukan CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, maka dari itulah presipitasi berlangsung lambat. Jadi, model larutan NaHCO<sub>3</sub> digunakan untuk lebih memperjelas pengaruh medan magnet terhadap ion HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> dalam proses pembentukan partikel CaCO<sub>3</sub>. Larutan CaCO<sub>3</sub> banyak digunakan oleh para peneliti karena sifat larutannya yang lebih mirip dengan air sadah sesungguhnya (Knez & Ciril, 2005; Fathi, Tlili, Gabrielli, Maurin, & Ben, 2006; Gabrielli, Jouhari, Maurin, & Keddani, 2001; Kobe, Drazic, McGuinness, & Medena, 2003).

Presipitasi CaCO<sub>3</sub> menggunakan larutan CaCO<sub>3</sub> jenis ini 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, 2006), menaikkan pH dan degassing gas CO<sub>2</sub> dengan N<sub>2</sub> (Fathi, Tlili,

Gabrielli, Maurin, & Ben, 2006) serta memberikan beda potensial pada larutan (Gabrielli, Jouhari, Maurin, & Keddum, 2001).

Di dalam sistem larutan karbonat terdapat kesetimbangan antara  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  (karbonat) dan  $\text{HCO}_3^-$  (bikarbonat). Besarnya fraksi ketiga jenis molekul tersebut dalam larutan merupakan fungsi dari pH larutan seperti yang terlihat pada Gambar 2.3 berikut ini :

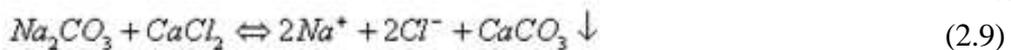


Gambar 2.3 Efek Perubahan pH Terhadap Fraksi  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  dalam Larutan (Kemmer, 1988)

Gambar 2.3 menunjukkan bahwa ketika pH rendah konsentrasi gas  $\text{CO}_2$  dalam larutan besar dan konsentrasi  $\text{HCO}_3^-$  kecil. Seiring dengan terlepasnya  $\text{CO}_2$  terlarut dalam larutan ke udara yang ditandai dengan menurunnya fraksi  $\text{CO}_2$  dalam larutan maka pH akan naik begitu pula dengan fraksi  $\text{HCO}_3^-$ . Konsentrasi  $\text{HCO}_3^-$  akan mencapai puncaknya sekitar pH 8,5. Setelah pH mencapai 8,5 maka konsentrasi  $\text{HCO}_3^-$  mulai menurun dan pada larutan mulai terbentuk  $\text{CO}_3^{2-}$ . Pada kondisi ini presipitasi  $\text{CaCO}_3$  mulai terjadi.

### 2.2.1.2 Model Presipitasi Cepat

Model larutan lain yang juga digunakan oleh banyak peneliti dalam mengamati presipitasi  $\text{CaCO}_3$  adalah dengan mencampurkan larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  (Higashitani, Kage, Katamura, Imai, & Hatade, 1993; Barret & Parsons, 1998; Abdel & Sawada, 2003; Chibowski, Lucyna, & Aleksandra, 2003) dengan reaksi sebagai berikut:



Proses pembentukan  $\text{CaCO}_3$  dengan model larutan ini berjalan cepat terutama pada fasa larutan karena harga supersaturasi ( $\delta_s$ ) yang jauh lebih tinggi dibanding model larutan  $\text{CaCO}_3$  dan larutan  $\text{NaHCO}_3$ . Campuran larutan yang dihasilkan bersifat basa (pH 10 - 11) dan akan menurun mendekati pH iso-elektrik kalsit yaitu sekitar 8,4 seiring dengan meningkatnya jumlah  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk.

### 2.2.2 Mekanisme Presipitasi dan Terbentuknya Kristal $\text{CaCO}_3$ dalam Larutan

Presipitasi  $\text{CaCO}_3$  dalam larutan (*homogeneous precipitation*) 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 kluster tersebut membentuk koloid nuklei dan akan tumbuh menjadi kristal yang stabil (Ben, Zgolli, Tlili, & Manzola, 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 metastabil dan akan bertransformasi lebih lanjut menjadi kalsit.

Transformasi ACC menjadi kalsit dan vaterit terjadi pada suhu rendah (14 - 30 °C), sedangkan pada suhu 60 - 80 °C ACC bertransformasi menjadi kalsit dan aragonit. Pada suhu 40 - 50 °C, ACC akan bertansformasi menjadi kalsit, aragonit dan vaterit (Elfil & Roquesb, 2001). *Ground state* Aragonit lebih tinggi 28 eV dibanding kalsit. Untuk itu ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  memerlukan energi yang lebih besar untuk dapat membentuk aragonit.

Suhu sangat berpengaruh terhadap proses presipitasi dan pembentukan partikel  $\text{CaCO}_3$ . Kenaikan suhu menyebabkan kelarutan  $\text{CaCO}_3$  menurun dan pada suhu diatas 60 °C pembentukan kristal aragonit akan terjadi. Chibowski melakukan percobaan magnetisasi sistem fluida statik pada campuran larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$

dengan kuat medan 0,1 T pada suhu larutan saat magnetisasi 20 - 80 °C (Chibowski, Lucyna, & Aleksandra, 2003). Pada suhu 60 dan 80 °C, pengaruh magnetisasi berkurang dan jumlah kerak yang terbentuk menurun dengan naiknya suhu. Hasil uji XRD menunjukkan terjadinya peningkatan jumlah kristal aragonit pada suhu 60 dan 80 °C . Hal ini sesuai dengan mekanisme pembentukan kristal aragonit yang lebih mudah terbentuk pada suhu diatas 60 °C (Kobe, Drazic, McGuinness, & Medena, 2003).

Ketika pertikel *scale* terbentuk didalam bagian larutan, beberapa gaya akan bekerja pada bagian ini. Gaya gravitasi ( $F_g$ ) yang akan mengarahkan partikel ke arah bawah, gaya ini akan berlawanan dengan gaya drag ( $F_D$ ) dan gaya bouyant ( $F_b$ ). Resultan ketiga gaya ini adalah sama dengan kecepatan pengendapan pertikel yaitu :

$$m \frac{dv}{dt} = F_g - F_b - F_D \quad (2.10)$$

Periode jatuhnya partikel terdiri dari dua periode, dimana untuk periode pertama atau *accelerated fall* biasanya sangat singkat. Periode kedua adalah *terminal velocity* ( $v_t$ ) atau *free settling velocity*. *Terminal velocity* ini dapat dihitung dengan persamaan 2.11.

$$v_t = \sqrt{\frac{2 g (\rho_p - \rho) m}{A \rho_p C_D \rho}} \quad (2.11)$$

Keterangan :  $G$  = Gaya gravitasi  
 $\rho_p$  = Densitas partikel  
 $\rho$  = Densitas media  
 $A$  = Luas permukaan  
 $C_D$  = Koefisien drag

### 2.2.3 Mekanisme Presipitasi dan Terbentuknya Kristal CaCO<sub>3</sub> pada Deposit

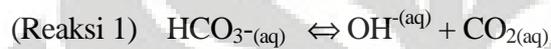
Reaksi pembentukan CaCO<sub>3</sub> bersifat endotermis, dimana kenaikan suhu menyebabkan jumlah CaCO<sub>3</sub> yang terbentuk meningkat. Reaksi pembentukan CaCO<sub>3</sub> yang berasal dari Ca<sup>2+</sup> dan CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> jauh lebih spontan / cepat ( $\Delta G^\circ = -11,38$  kcal/mol) dibanding yang berasal dari Ca<sup>2+</sup> dan HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ( $\Delta G^\circ = -5,98$  kcal/mol). Data ini sesuai dengan percobaan yang dilakukan menggunakan model larutan CaCO<sub>3</sub> dan campuran larutan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dan CaCl<sub>2</sub>.

Tabel 2.3. Data Termodinamik Reaksi Pembentukan CaCO<sub>3</sub>

Reaksi Keseimbangan	$\Delta H^\circ$ (kcal/mol)	$\Delta G^\circ$ (kcal/mol)
$\text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{HCO}_3^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq}) + \text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	4,67	-5,98
$2\text{HCO}_3^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) + \text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	1,72	5,4
$\text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{CaCO}_3(\text{s})$	2,95	-11,38

(Saksono, 2006)

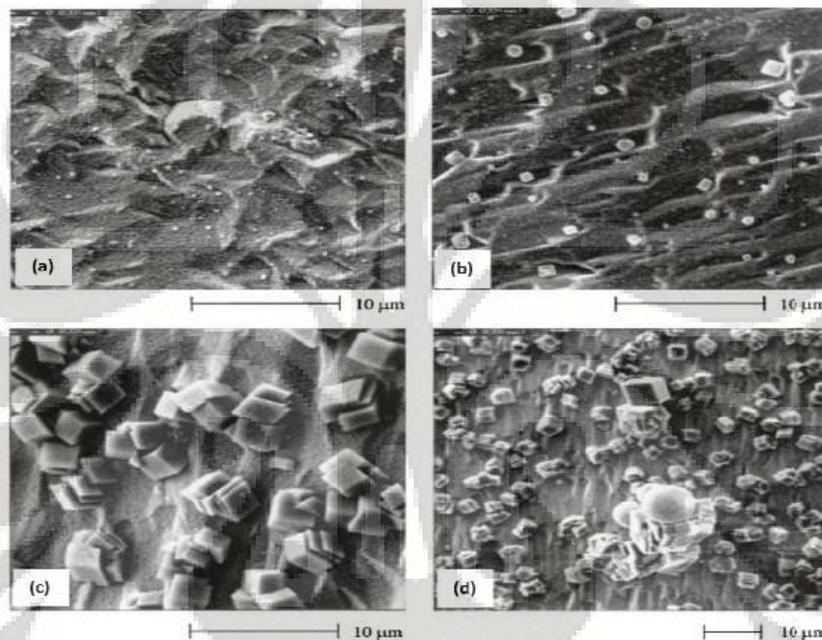
Pada Tabel 2.3, reaksi pembentukan CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> dari HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> merupakan tahap penentu laju reaksi karena mempunyai nilai  $\Delta G^\circ$  yang positif yang berarti reaksi berlangsung tidak spontan. Berikut ini adalah 2 step reaksi pembentukan formasi CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> dari HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> :



Reaksi yang pertama memisahkan ion bikarbonat ke dalam ion hidroksida dan gas karbon dioksida dalam bentuk cair. Disini nilai pH akan meningkat karena kehadiran ion hidroksida. Gas karbon dioksida secara berangsur-angsur berubah ke dalam bentuk gas di dalam sistem *open cooling-tower* selanjutnya lepas dari air dan meninggalkan sisa ion hidroksida sehingga akan meningkatkan pH air diatas 7,0. Karena kelebihan ion hidroksida, permukaan pipa menjadi bermuatan negatif yang dapat menarik ion kalsium yang bermuatan positif dan secepatnya membuat suatu lapisan elektrik ganda di dekat dinding pipa. Lebih dari itu, suatu reaksi yang baru berlangsung antara hidroksida dan ion bikarbonat yang menghasilkan ion karbonat seperti ditunjukkan pada reaksi kedua. Ketika ion karbonat diproduksi, kalsium akan bereaksi secara spontan dengan ion karbonat untuk membentuk kalsium karbonat pada permukaan alat penukar panas.

Ben Amor mempelajari pengaruh kesadahan air, jenis permukaan wadah dan suhu pada proses nukleasi CaCO<sub>3</sub> menggunakan model larutan CaCO<sub>3</sub> (Ben, Zgolli, Tlili, & Manzola, 2004). Hasil yang didapat menunjukkan pada kesadahan rendah (0,2 gr CaCO<sub>3</sub>/L) presipitasi CaCO<sub>3</sub> di deposit jauh lebih dominan (98 %) dibanding presipitasi CaCO<sub>3</sub> pada fasa larutan (2 %), sedangkan pada kesadahan tinggi (0,5 gr CaCO<sub>3</sub>/L), presipitasi pada fasa larutan mulai signifikan mencapai hingga (23 %). Kristal *scale* yang terbentuk pada bagian permukaan mempunyai ukuran yang lebih besar (10 - 20  $\mu\text{m}$ ) dibandingkan kristal pada bagian ruah ( $\pm 5\mu\text{m}$ ).

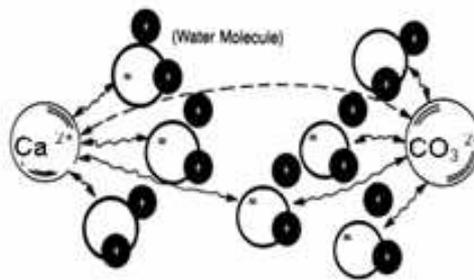
Abdel melakukan pengamatan deposit  $\text{CaCO}_3$  dari larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$ . Hasil analisis SEM (*Spectrophotometer Electron Microscope*) pada deposit  $\text{CaCO}_3$  menunjukkan kristal  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk pada 1,5 jam pertama presipitasi hampir semuanya adalah kalsit. Setelah itu mulai tampak sejumlah kecil kristal vaterit (kurang dari 3 %) pada permukaan (Gambar 2.4) (Abdel, Satoh, & Sawada, 2002). Hal ini menunjukkan perbedaan yang signifikan antara mekanisme pembentukan kristal di larutan dan di deposit dimana presipitasi di deposit akan jauh lebih dominan membentuk kristal kalsit dibanding presipitasi di larutan.



Gambar 2.4 Gambar SEM pada Permukaan Logam Emas untuk Presipitasi Selama (a) 1 Menit, (b) 3 Menit, (c) 8 Menit dan (d) 1,5 Jam. Pada Suhu  $25^\circ\text{C}$ ,  $\omega = 300$  rpm (Knez & Ciril, 2005)

#### 2.2.4 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 2.5.



Gambar 2.5. Orientasi Molekul Air Terhadap Ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  pada Air Sadah

Sifat interaksi ion dengan molekul air relatif lebih kuat dibanding ikatan/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/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 Satoh, & Sawada, 2002). Gabrielli menggunakan larutan  $\text{CaCO}_3$  dengan sistem aliran pompa sirkulasi juga mendapatkan adanya peningkatan laju pembentukan deposit  $\text{CaCO}_3$  dengan meningkatnya laju alir fluida (Gabrielli, Maurin, Poindessous, & Rosset, 1999).

### 2.3 Pembentukan Partikel $\text{CaCO}_3$ dalam Medan Magnet.

Meskipun sudah banyak publikasi *paper* ilmiah menunjukkan hasil yang kongkrit tentang pengaruh medan magnet terhadap pembentukan kerak, namun isu tentang fenomena sesungguhnya yang terjadi masih tetap belum ada kejelasan. Masih terdapat beberapa perbedaan hasil yang didapat oleh beberapa peneliti. Beberapa peneliti melaporkan penurunan kerak yang terjadi mencapai hingga 50 % menggunakan aliran sirkulasi (Parsons, Wang, Judd, & Stephenson, 1997), sementara peneliti lainnya tidak atau sedikit sekali pengurangan kerak yang terjadi (Busch, 1997) bahkan beberapa peneliti mendapatkan penambahan jumlah kerak yang terbentuk (Wang, Babchin, Cherny, Chow, & Sawatzky, 1997) dengan adanya medan magnet.

### 2.3.1 Interaksi Antar Partikel pada Sistem Koloid.

Dalam sistem koloid, energi interaksi antar partikel akan menentukan stabilitas partikel koloid dalam berkoagulasi. Menurut teori klasik Derjaguin-Landau-Verwey-Overbeek (teori DLVO) ada dua gaya interaksi yang bekerja pada partikel halus dalam suatu sistem koloid yaitu gaya tolak menolak lapisan ganda (*electric double layer repulsion*)  $V_r$ , dan gaya tarik menarik London-Vanderwaals  $V_{vdw}$ .

Wang berhasil membuktikan bahwa ada gaya ketiga ( $V_m$ ) yang menyebabkan gaya tarik menarik antar partikel dengan kemagnetan lemah pada sistem koloid jika diberikan induksi medan magnet (Wang, Robert, & Forssberg, 1994). Persamaan untuk ketiga energi potensial interaksi tersebut tersebut dapat dilihat pada persamaan (2.12), (2.13), (2.14) dan (2.15).

$$V_r = \frac{\left( \frac{a^2}{2a + H_o} \right)}{\pi \epsilon \psi_o^2 \exp(\kappa H_o)} \quad (2.12)$$

$$\text{dimana : } \kappa = \frac{8\pi e^2 I^{1/2}}{\epsilon k T} \quad (2.13)$$

$$V_{vdw} = \frac{-Aa}{H_o} \left( \left( \frac{-2,45}{60 p_o} \right) + \left( \frac{2,17}{180 p_o^2} \right) - \left( \frac{-0,5}{420 p_o^3} \right) \right) \quad (2.13)$$

$$\text{dimana : } p_o = \frac{2\pi H_o}{\lambda}$$

$$V_m = \frac{8\pi a^6 \chi^2 B^2}{9\mu_o (H_o + 2a)^3} \quad (2.14)$$

$$\text{Energi Interaksi total } V_T = V_r + V_{vdw} + V_m \quad (2.15)$$

dimana :

$A$ = Konstanta hamaker	$k$ = Konstanta Boltzman
$\epsilon$ = Konstanta dielektrik	$\psi_o$ = Potensial permukaan
$\kappa$ = Debye Huckel <i>reciprocal lenght</i> .	$I$ = <i>Ionic strenght</i>
$B$ = Induksi Medan Magnet	$e$ = Muatan listrik
$a$ = Radius partikel	$\chi$ = <i>Subsebtibility magnetic volum</i>
$H_o$ = Jarak antar permukaan partikel	$\mu_o$ = Permeabilitas ruang hampa

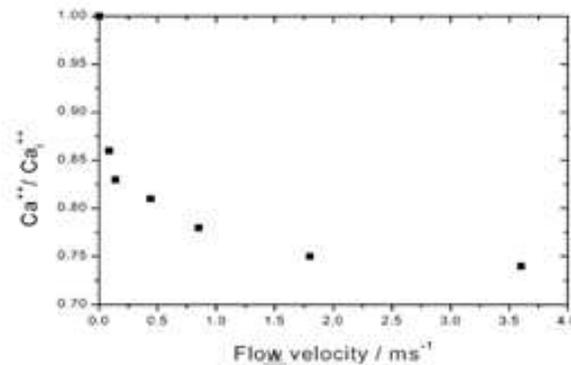
Gaya interaksi magnetik ( $V_m$ ) yang ditimbulkan medan magnet pada larutan koloid yang diam (sistem fluida statik) bersifat *long range interaction* dan besarnya sangat dipengaruhi oleh jarak antar partikel dan ukuran partikel seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.14). Untuk sistem koloid larutan  $\text{CaCO}_3$  maka jarak antar partikel berhubungan dengan konsentrasi dan kejenuhan larutan, sedangkan ukuran partikel berhubungan dengan waktu pertumbuhan kristal.

### 2.3.2 Efek Interaksi Sistem Ion dan Partikel pada Sistem Fluida Dinamik

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  $F = e \cdot V \times B$ . 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 (Kozic & Lipus, 2003).

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. Argumentasi ini dapat diterima terutama untuk kasus larutan dengan konsentrasi jauh diatas kondisi lewat jenuh.

Gabrielli melakukan percobaan magnetisasi larutan  $\text{CaCO}_3$  dengan aliran sirkulasi (sistem fluida dinamik) dan mengamati konsentrasi ion  $\text{Ca}^{2+}$  sebelum dan sesudah magnetisasi pada berbagai kecepatan fluida menggunakan alat ukur ion selektif (Gabrielli, Jouhari, Maurin, & Keddani, 2001). Gambar 2.6 menunjukkan terjadi penurunan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dengan meningkatnya kecepatan fluida, bahkan pada kecepatan yang sangat rendah (0,074 m/s) telah terjadi penurunan ion  $\text{Ca}^{2+}$  sebanyak 25 %. Penurunan ion Ca di larutan menunjukkan presipitasi  $\text{CaCO}_3$  yang terjadi. Hasil ini menunjukkan bahwa gaya Lorentz berpengaruh terhadap proses nukleasi  $\text{CaCO}_3$  saat proses magnetisasi.



Gambar 2.6. Rasio Penurunan Ion Ca Sesudah Magnetisasi dan Sebelum Magnetisasi di Larutan pada Proses Magnetisasi Larutan  $\text{CaCO}_3$  pada Berbagai Kecepatan Larutan. (Gabrielli, Jouhari, Maurin, & Keddani, 2001)

## 2.4 Metode - Metode Pengolahan Air

Pengolahan air adalah suatu proses mengkondisikan air agar sesuai dengan kebutuhannya atau mengembalikannya pada kondisi semula. Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk mengolah air yaitu :

- Metode pelembut air secara kimiawi (*chemical water softener*) •

*Reverse osmosis*

- Metode pertukaran ion
- *Magnetic water treatment*
- *Electromagnetic water treatment*

### 2.4.1 Metode Pelembut Air Secara Kimiawi

Terdapat dua tipe pengolahan air yang menggunakan bahan-bahan kimia, yaitu yang bersifat mengendapkan dan tidak mengendapkan.

#### 1. Bahan kimia yang mengendapkan

Bahan kimia seperti *washing soda* dan borax dapat membentuk produk yang mengendapkan ion kalsium maupun magnesium. Kondisi pH dari air hasil *treatment* ini akan lebih tinggi dari kondisi awal dan dapat membuat air berkabut. Air hasil *treatment* ini tidak dapat diminum.

#### 2. Bahan kimia yang tidak mengendapkan

Bahan kimia yang digunakan adalah bahan kimia yang dapat mengkompleks ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$ . Kompleks yang terbentuk ini dapat larut dalam air sehingga dapat mencegah terbentuknya *scale*. Pengkompleks yang biasa digunakan

adalah  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ . Fosfat ini apabila digunakan dalam jangka waktu yang lama dapat merusak lingkungan.

#### 2.4.2 Reverse Osmosis

Reverse osmosis bekerja dengan mendorong air dengan konsentrasi yang lebih tinggi melewati membran semi permeabel dan menahan partikel tertentu untuk melewatinya. Air produk dari reverse osmosis ini dapat diminum, namun biaya yang digunakan diperkirakan sebesar \$ 0,05/liter.

#### 2.4.3 Metode Pertukaran Ion

Metode ini menggunakan resin penukar ion untuk menghilangkan kandungan kalsium dan magnesium di dalam air. Air yang akan ditreatment dilewatkan pada media yang berisi reagen penukar ion (contohnya ialah zeolit) lalu akan terjadi penukaran ion. Zeolit yang mengandung ion natrium apabila berkontak dengan ion kalsium atau magnesium akan menyebabkan pertukaran ion. Ion kalsium maupun magnesium akan berikatan dengan zeolit sedangkan natrium akan terlepas di air. Ketika resin ini menjadi jenuh dengan kalsium dan magnesium maka zeolit harus diregenerasi. Proses regenerasi ini menggunakan larutan garam ( $\text{NaCl}$ ). Selama proses regenerasi, ion kalsium dan magnesium mengalami pertukaran kembali dengan ion natrium. Air hasil treatment dengan metode ini kurang cocok untuk diminum karena mengandung cukup banyak ion natrium.

#### 2.4.4 Magnetic Water Treatment

*Magnetic water treatment* (MWT) adalah pengolahan air sadah dengan menggunakan medan magnet statik yang dihasilkan dari magnet permanen atau elektromagnet. Efek magnetisasi akan menyebabkan penurunan jumlah ion kalsium dari larutan, sehingga air produk treatment ini akan berkurang tendensinya untuk membentuk *scale* (Kozic & Lipus, 2003).

Hipotesis yang banyak diberikan adalah magnetisasi dapat memodifikasi hidrasi ion dan permukaan padatan, dimana molekul  $\text{H}_2\text{O}$  yang terikat lemah di sekitar ion bersifat quasi-stabil dan dibuat lebih teratur oleh adanya medan magnet sehingga meningkatkan lapisan absorpsi pada permukaan ion hidrat (Higashitani,

Kage, Katamura, Imai, & Hatade, 1993). Sistem ini dikembangkan untuk lebih melihat fenomena pengaruh medan magnet terhadap proses pembentukan partikel  $\text{CaCO}_3$  dan sistem ini telah digunakan oleh para peneliti dalam beberapa jurnal ilmiah (Fathi, Tlili, Gabrielli, Maurin, & Ben, 2006; Kobe, Drazic, McGuinnessa, & Medena, 2003; Higashitani & Oshitani, 1998).

Dari teori magnetohidrodinamika dasar diketahui bahwa dinamika alir dari suatu cairan penghantar seperti pelarut dan elektrolit cair dapat diubah melalui suatu transkonduksi medan magnet (Busch, 1997). Ketika cairan penghantar mengalir melalui medan magnet, medan elektrik yang akan dihasilkan menurut Hukum Faraday ialah :

$$E = v \times B \quad (2.16)$$

dimana  $E$  adalah vektor medan elektrik yang diberikan oleh hasil perkalian vektor kecepatan cairan yang linier  $v$  dan vektor induksi magnetik  $B$ . Medan listrik menghasilkan beda-potensial yang dapat menyebabkan arus yang mengalir. Kehadiran dari arus induksi dalam cairan dan aplikasi medan magnet menghasilkan suatu kekuatan mekanik  $F$  pada cairan yang dikenal sebagai *ponderomotive force* yang besarnya adalah :

$$F = j \times B \quad (2.17)$$

yang mana nilai dari gaya ini diberikan oleh produk perkalian vektor dari kerapatan arus  $j$  dan induksi magnetik  $B$ . Dalam kasus aliran laminar, *ponderomotive force* dapat menimbulkan *shear stress* yang lebih tinggi di sekitar dinding pipa yang dapat memicu terjadinya nukleasi dan presipitasi  $\text{CaCO}_3$ . Fenomena ini disebut *magnetohidrodinamik Effect*.

Secara teoritis, sebagai tambahan terhadap efek *magnetohidrodinamik*, efek gaya lorentz juga dapat terjadi. Gaya Lorentz ini dapat mendorong terjadinya perpindahan lokal dalam cairan yang dapat berkontribusi pada meningkatnya penggabungan antara ion-ion atau partikel-partikel koloid. Besarnya gaya Lorentz adalah:

$$F = e V_w \cdot B \quad (2.18)$$

dimana garis magnetik dari  $B$  tegak lurus arah dari aliran air  $V_w$ .

Penggunaan MWT di industri dimulai saat faunce dan cabell (1890) menemukan alat elektromagnetik untuk mengolah air umpan untuk boiler.

Penggunaan medan magnet maupun medan listrik pada alat tersebut diklaim dapat secara signifikan mengurangi lapisan kerak pada boiler. Penelitian lanjutan untuk metode ini diprakarsai oleh Vermairen (1953) yang melakukan beberapa eksperimen untuk melihat pengaruh medan magnet dan mendapatkan bahwa pengaruh medan magnet eksternal pada beberapa jenis kristal seperti kalsium karbonat, aluminium fosfat dan borax dapat mengendap dalam bentuk yang berbeda dengan tanpa pengaruh medan magnet. Sejak tahun 1960, elektromagnet kuat mulai digunakan dalam sistem air yang beroperasi pada suhu tinggi di Uni Soviet. Pasar Amerika mulai tertarik untuk mengolah air dengan metode magnetisasi pada tahun 1973 (Wang, Babchin, Cherny, Chow, & Sawatzky, 1997).

Gabrielli telah melaksanakan satu rangkaian sederhana dengan pengawasan eksperimen yang baik untuk berbagai variabel proses yang telah berkontribusi dalam efisiensi MWT untuk pencegahan *scale*. Variabel proses ini meliputi kecepatan air, jumlah magnet, orientasi dari medan magnet, material pipa dan jenis skala air. Variabel proses ini merupakan parameter yang utama yang mempengaruhi penurunan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dalam air yang ditreatment (Gabrielli, Jouhari, Maurin, & Keddam, 2001).

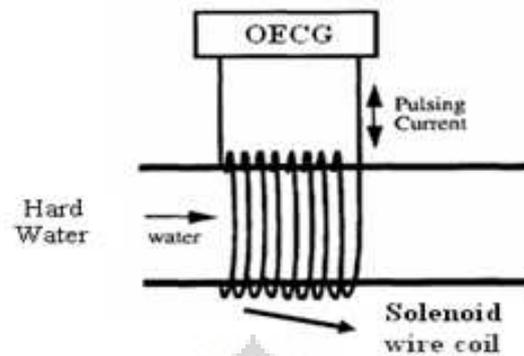
#### 2.4.5 Elektromagnetik Water Treatment

Medan osilasi elektrik menghasilkan suatu arus yang bergerak untuk menciptakan *time-varying* medan magnet. *Time varying* medan magnet ini menciptakan suatu induksi medan elektrik seperti diuraikan oleh hukum Faraday.

$$\int E \cdot ds = -\frac{\partial}{\partial t} \int B \cdot dA \quad (2.19)$$

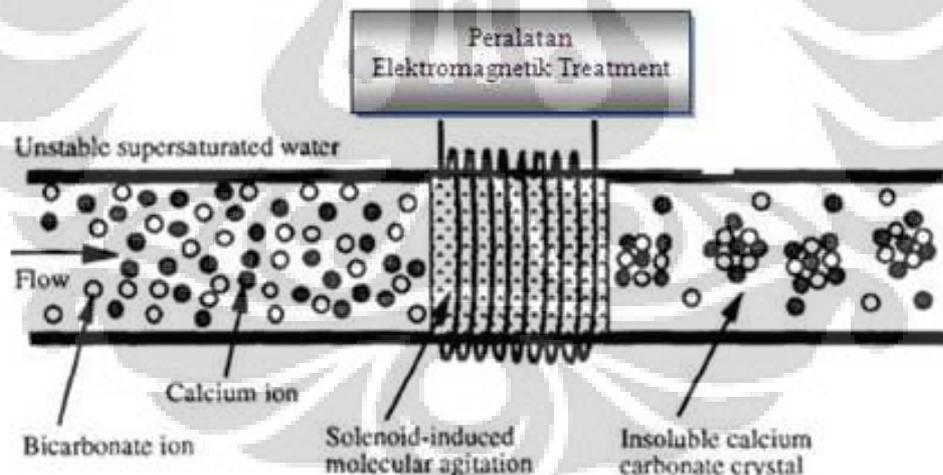
Dimana E adalah vektor induksi medan listrik, s adalah garis vektor sepanjang arah sirkumferensial, B adalah vektor kuat medan magnet, dan A adalah luas area pipa.

Gambar 2.7 menunjukkan suatu diagram operasi dari suatu medan elektromagnetik. Untaian kawat tunggal dililit di sekitar saluran-pipa dan dihubungkan ke generator arus listrik yang berosilasi (OECG) yang memproduksi suatu arus yang berosilasi untuk menciptakan *time-varying* medan magnet di dalam pipa.



Gambar 2.7 Diagram Operasi Elektromagnetik Treatment dengan Unit OCEG.  
(Cho, Fan, & Choi, 1997)

Induksi medan elektrik yang berosilasi menyediakan gaya yang cukup untuk merangsang ion mineral seperti kalsium dan ion bikarbonat agar bertumbukan dan berpresipitasi. Setelah ion dirangsang, ion dikonversi menjadi kristal mineral yang tidak dapat larut. Akibatnya tingkat kejenuhan air berkurang sehingga kesadahan air dapat diturunkan. Hal ini ditunjukkan dengan berkurangnya jumlah kalsium dan ion bikarbonat di larutan (Cho, Fan, & Choi, 1997) seperti terlihat pada ilustrasi Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Diagram Skema Presipitasi  $\text{CaCO}_3$  Melalui Proses Elektromagnetik Treatment  
(Cho, Fan, & Choi, 1997)

#### 2.4.5.1 Mekanisme Proses Elektromagnetik Water Treatment

Mekanisme proses *electromagnetic water treatment* dimulai dari energi nukleasi. Untuk mengetahui konsep tentang energi nukleasi diperlukan konsep dari energi bebas gibbs ( $\Delta G$ ).  $\Delta G$  pembentukan suatu unsur adalah energi yang dibutuhkan untuk pembentukan unsur minus.  $\Delta G$  merupakan produk dari temperatur

dan entropy. Fungsi ini sering digunakan untuk mengevaluasi keseimbangan termodinamik. Energi gibbs nukleasi adalah energi *bulk* ditambah dengan energi permukaan (Cho, Fan, & Choi, 1997).

$$\Delta G \text{ nukleasi} = \Delta G(\text{bulk}) + \Delta G(\text{permukaan}) \quad (2.20)$$

Energi bulk didefinisikan sebagai :

$$\Delta G(\text{bulk}) = -j.k.T.S = -\frac{4}{3}\pi r^3 \Delta G_v \quad (2.21)$$

Dimana

- $j$  : Jumlah molekul dalam nukleus
- $k$  : Konstanta Boltzman
- $T$  : Temperatur absolut
- $r$  : Radius dari *nucleus*
- $\Delta G_v$  : Perubahan energi bebas pembentukan per unit volume
- $S$  : Derajat supersaturasi

$\Delta G(\text{Bulk})$  merupakan energi yang dilepaskan selama kristalisasi dari pembuatan ikatan.  $\Delta G(\text{Bulk})$  selalu berharga negatif, menunjukkan bahwa energi *bulk* sebagai pengarah reaksi secara spontan. Disisi lain,  $\Delta G$  permukaan dapat dapat dideskripsikan oleh persamaan sebagai berikut:

$$\Delta G(\text{surface}) = 4 n r^2 \gamma \quad (2.22)$$

Dimana :

- $\gamma$  : Tegangan permukaan
- $\Delta G(\text{surface})$  : Energi yang dibutuhkan untuk membuat permukaan suatu inti dan harganya selalu positif

Diawal nukleasi, jumlah molekul dalam inti adalah kecil sehingga energi permukaan (suatu fungsi dari radius<sup>2</sup>) lebih besar dari energi bulk (suatu fungsi dari radius<sup>3</sup>), membuat keseluruhan energi bebas gibbs bertanda positif. Hal ini menyebabkan reaksi tidak akan terjadi secara spontan tanpa adanya energi yang masuk dari luar sistem. Namun, ketika kristal tumbuh, energi *bulk* akan menjadi

lebih dominan, membuat keseluruhan energi bebas gibbs bertanda negatif dan reaksi berlangsung secara spontan.

Gambar 2.9 menunjukkan bagaimana energi bebas gibbs kristalisasi berpengaruh pada ukuran inti dan derajat tingkat supersaturasi. Energi *bulk* harus lebih besar dari energi permukaan sedemikian sehingga  $\Delta G$  nukleasi menjadi negatif dan reaksi kristalisasi berlangsung secara spontan. Berikut ini adalah persamaan untuk mengetahui laju nukleasi dari presipitasi  $\text{CaCO}_3$ :

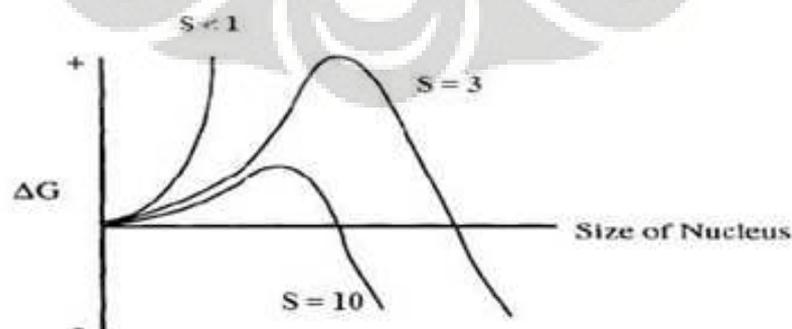
$$J(\text{laju nukleasi}) = A \exp\left[\frac{-\Delta G}{kT}\right] = A \exp\left[\frac{-16\pi\gamma^3 v^2}{3k^3 T^3 (\ln S)^3}\right] \quad (2.23)$$

Dimana

- A : Faktor frekuensi
- S : Faktor supersaturasi
- v : Volume molekul

Faktor frekuensi disesuaikan untuk banyaknya tumbukan efektif yang berhubungan dengan total jumlah benturan. Dengan cara ini, dapat terlihat bahwa laju nukleasi bergantung pada empat besaran dasar yaitu:

- Faktor frekuensi
- Temperatur
- Energi permukaan
- Derajat saturasi



Gambar 2.9 Profil Energi Bebas Gibbs pada Tiga Rasio Derajat Saturasi yang Berbeda.  
(Cho, Fan, & Choi, 1997)

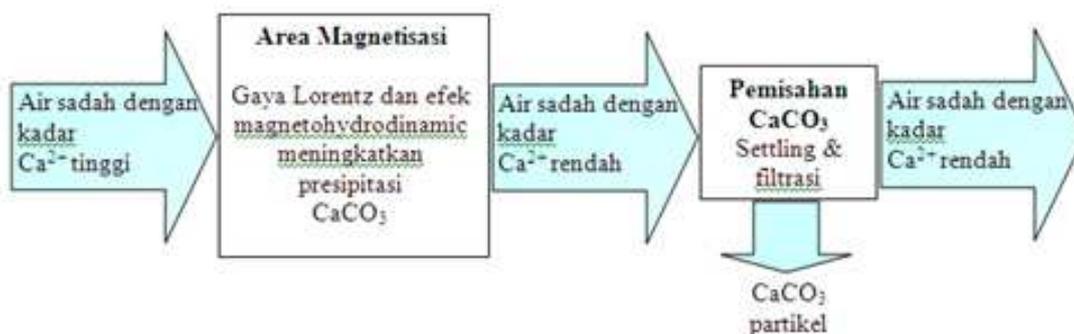
Beberapa material asing (pengotor) akan mengurangi tegangan permukaan antara fasa padat dan fasa cair yang akan menjadi awal dari proses nukleasi. Dalam hal ini ion terdispersi berpartisipasi secara langsung dalam tumbukan dengan pengotor di dalam air. Adanya medan osilasi elektrik yang diproduksi oleh peralatan *electromagnetic water treatment* merubah efektivitas dari tumbukan tersebut dan meningkatkan jumlah tumbukan yang mengakibatkan nukleasi (Cho, Fan, & Choi, 1997).

Perubahan dalam faktor frekuensi dapat diterangkan dengan melemahnya ikatan hidrogen antara ion dan molekul sekitar air. Medan osilasi elektrik yang diproduksi oleh peralatan *electromagnetic water treatment* berorientasi untuk menyerang ion (baik itu ion positif maupun ion negatif). Seiring dengan meningkatnya energi kinetik dari tumbukan ion, medan osilasi elektrik juga dapat meningkatkan gaya coulomb dari ion dengan terus meningkatkan momen dipol mereka. Jika standar momen dipol dari ion diganggu oleh peralatan *electromagnetic water treatment*, ion terlarut akan mempunyai suatu energi yang berbeda dengan inti. Pergeseran momen dipol ini mengakibatkan laju nukleasi menjadi meningkat.

Laju nukleasi heterogen meningkat karena turunnya energi permukaan. Semua faktor ini dapat meningkatkan efisiensi dari tumbukan menghasilkan jumlah nukleus yang lebih besar sehingga  $\Delta G$  nukleasi menjadi negatif dan mendorong reaksi kearah kristalisasi yang spontan.

#### **2.4.5.2 Desain Peralatan Electromagnetic Water Treatment**

Nelson telah mengusulkan suatu proses elektromagnetik *treatment* yang mampu menurunkan kesadahan dan sekaligus menekan terjadinya *scale* pada air sadah yg telah diolah (Saksono, 2006). Skema prosesnya dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Desain Peralatan Elektromagnetik Water Treatment.  
(Saksono, 2006)

Variabel kondisi operasi dan variabel proses seperti laju alir, lama sirkulasi, kesadahan air, jumlah lilitan, konfigurasi lilitan, tegangan dan frekuensi osilasi akan sangat berpengaruh terhadap efektivitas proses sistem *electromagnetic water treatment* ini.

## 2.5 Medan Elektromagnetik

### 2.5.1 Asal Kemagnetan

Sifat kemagnetan material secara makroskopik merupakan konsekuensi momen magnet material penyusun karena adanya pergerakan partikel listrik. Pada skala atom, momen magnet berasal dari pergerakan elektron yang dipengaruhi oleh konfigurasi elektron yang berbeda tiap atom atau ikatan antar atom.

Elektron mempunyai dua pergerakan, yakni spin dan orbit dimana momen magnet spin elektron memberikan efek lebih besar daripada orbitnya. Besar momen magnet diindikasikan oleh Bohr magneton,  $\mu_B = 9,27 \times 10^{-24} \text{ A}\cdot\text{m}^2$ . Untuk spin ke atas dan ke bawah bernilai berturut-turut  $+\mu_B$  dan  $-\mu_B$ . Untuk orbital bernilai  $\mu_B \cdot m$ , dimana  $m$  nilai kuantum magnetik (Kanginan, 2000).

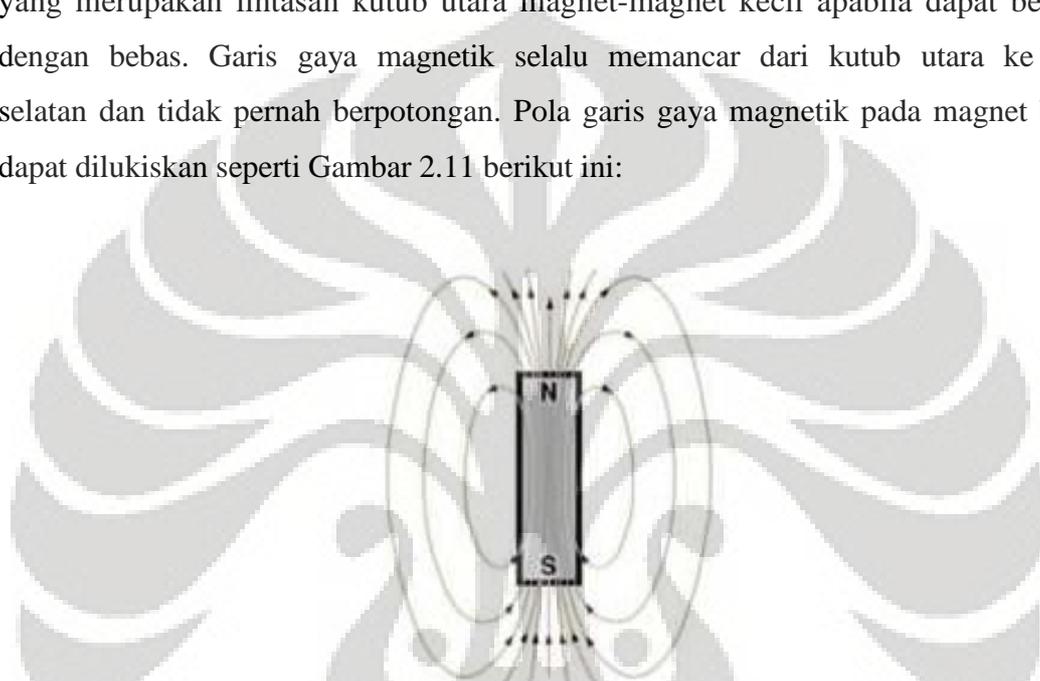
### 2.5.2 Dipol Magnetik

Dipol magnetik dapat dianalogikan sebagai magnet batang yang terdiri dari kutub utara dan kutub selatan, pengganti dengan kutub  $+$  dan  $-$  dari dipol listrik. Pada lingkungan suatu medan magnet, dipol magnetik pada suatu material cenderung terorientasi terhadap medan. Dipol magnetik dapat menimbulkan medan magnet.

### 2.5.3 Medan Magnetik

Medan magnetik adalah ruangan di sekitar benda-benda yang menimbulkan gaya magnetik. Gaya magnetik dapat ditimbulkan oleh benda-benda yang bersifat magnetik dan juga oleh arus listrik atau muatan listrik yang bergerak.

Medan magnetik dapat digambarkan dengan garis-garis gaya magnetik yang disebut spektrum magnetik. Garis gaya magnetik didefinisikan sebagai garis khayal yang merupakan lintasan kutub utara magnet-magnet kecil apabila dapat bergerak dengan bebas. Garis gaya magnetik selalu memancar dari kutub utara ke kutub selatan dan tidak pernah berpotongan. Pola garis gaya magnetik pada magnet batang dapat dilukiskan seperti Gambar 2.11 berikut ini:



Gambar 2.11 Garis-Garis Gaya Magnetik pada Magnet Batang.  
([www.electroniclab.com](http://www.electroniclab.com))

### 2.5.4 Medan Magnetik di Sekitar Arus Listrik

Seorang ilmuwan kebangsaan Denmark Christian Oersted (1777-1851), melakukan pengamatan yang menunjukkan bahwa arus listrik dapat menimbulkan medan magnet.

Jika penghantar yang berarus listrik dibentangkan antara magnet jarum dan tangan kanan, sedang arus listrik mengalir dari pergelangan ke ujung jari, maka kutub utara magnet jarum menyimpang searah ibu jari.

### 2.5.5 Induksi Magnetik

Besarnya medan magnet dinyatakan dengan kuat medan magnet. Kuat medan magnet di suatu titik didefinisikan sebagai gaya magnet yang dialami tiap satu-satuan

kuat kutub magnet utara di suatu titik yang berada di dalam medan magnetik magnet lain.

Kuat medan magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik di suatu titik disebut induksi magnetik. Besar induksi magnetik di suatu titik di dalam medan magnetik yang ditimbulkan oleh arus listrik telah dirumuskan oleh Biot-Savart:

$$B = k \frac{i}{a} \quad (2.24)$$

Dimana,

$B$  = Induksi magnetik (weber/m<sup>2</sup>)

$k$  = Konstanta kesebandingan

$i$  = Kuat arus (A)

$a$  = Jarak titik dalam medan magnetik ke penghantar (m)

### 2.5.6 Induktor

Arus listrik yang melewati kabel atau jalur-jalur pcb dalam suatu rangkaian berpotensi untuk menghasilkan medan induksi. Secara matematis induktansi pada suatu induktor dengan jumlah lilitan sebanyak  $N$  adalah akumulasi flux magnet untuk tiap arus yang melewatinya:

$$L = \frac{N \Phi}{i} \quad (2.25)$$

Fungsi utama dari induktor di dalam suatu rangkaian adalah untuk melawan fluktuasi arus yang melewatinya. Aplikasinya pada rangkaian DC salah satunya adalah untuk menghasilkan tegangan DC yang konstan terhadap fluktuasi beban arus. Pada aplikasi rangkaian AC, salah satu gunanya adalah bisa untuk meredam perubahan fluktuasi arus yang tidak diinginkan.

Dari pemahaman fisika, elektron yang bergerak akan menimbulkan medan elektrik di sekitarnya. Berbagai bentuk kumparan, persegi empat, setengah lingkaran ataupun lingkaran penuh, jika dialiri listrik akan menghasilkan medan listrik yang berbeda. Penampang induktor biasanya berbentuk lingkaran, sehingga diketahui besar medan listrik di titik tengah lingkaran adalah :

$$B = \mu \mu_0 n i \quad (2.26)$$

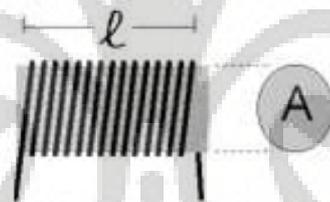
Jika dikembangkan,  $n$  adalah jumlah lilitan  $N$  relatif terhadap panjang induktor  $l$ . Secara matematis ditulis :

$$n = \frac{N}{l} \quad (2.27)$$

Dimana  $i$  adalah besar arus yang melewati induktor tersebut. Ada simbol  $\mu$  yang dinamakan permeability dan  $\mu_o$  yang disebut permeability udara vakum. Besar permeability  $\mu$  tergantung dari bahan inti (*core*) dari induktor. Untuk induktor tanpa inti (*air winding*)  $\mu = 1$ . Gambar 2.12 menunjukkan skema penampang dari suatu induktor.

Jika rumus-rumus di atas disubsitusikan maka rumus induktansi dapat ditulis menjadi :

$$L = \frac{\mu\mu_o N^2 A}{l} \quad (2.28)$$



Gambar 2.12 Penampang Induktor.  
(www.electroniclab.com)

Induktor selenoida dengan inti (*core*)

$L$  : Induktansi dalam H (Henry)

$\mu$  : Permeability inti (*core*)

$\mu_o$  : Permeability udara vakum

$N$  : Jumlah lilitan induktor

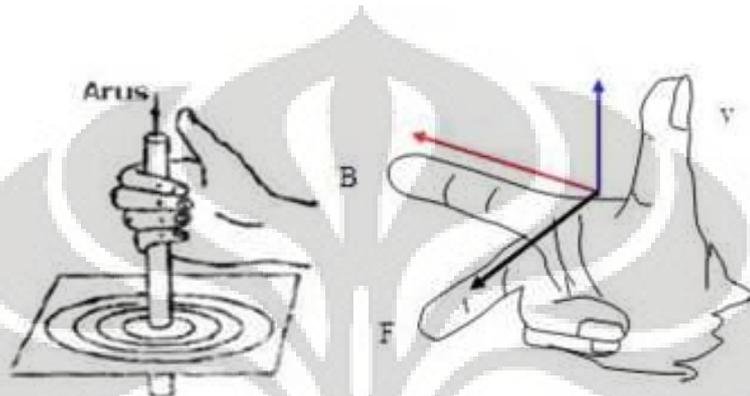
$A$  : Luas penampang induktor ( $m^2$ )

$l$  : Panjang induktor (m)

Rumus ini digunakan untuk menghitung nilai induktansi dari sebuah induktor. Rumus ini bisa dibolak-balik untuk menghitung jumlah lilitan induktor jika nilai induktansinya sudah ditentukan.

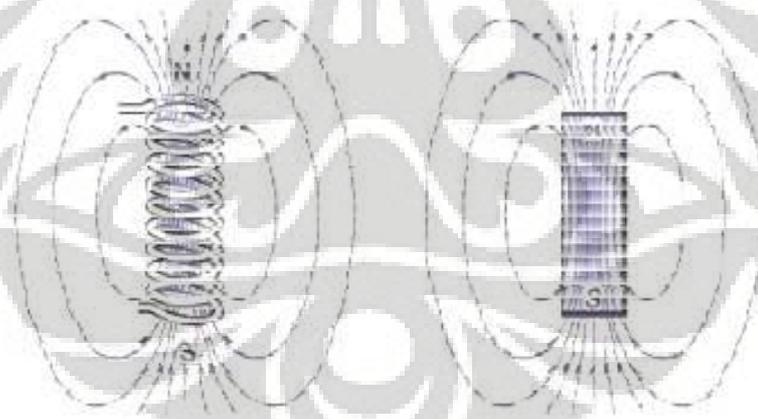
### 2.5.7 Sifat Magnetik Kumparan Berarus Listrik Solenoida

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 garis gaya magnetik di dalam kumparan dan arah lipatan jari tangan kanan menyatakan arah arus listrik seperti terlihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Arah Garis Gaya dengan Kaidah Tangan Kanan  
(Kanginan, 2000)

Gambar 2.14 memperlihatkan arah arus listrik dan arah medan magnetik/garis gaya magnetik pada kumparan solenoida.



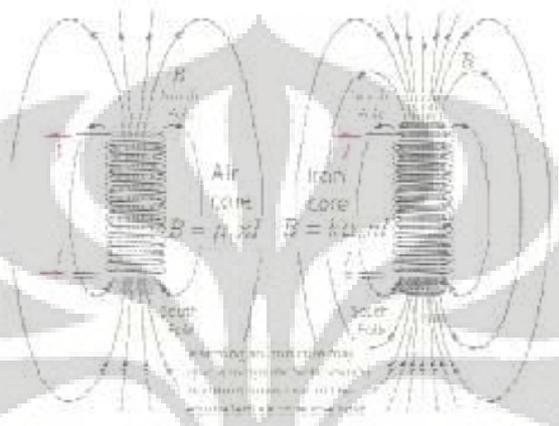
Gambar 2.14 Arah Garis-Garis Gaya Magnetik pada Kumparan Solenoida  
([www.hyperphysics.phy-astr.gsu.edu](http://www.hyperphysics.phy-astr.gsu.edu))

Gambar 2.14 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, sedangkan 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.

Gambar 2.15 menunjukkan arah arus listrik dan garis - garis gaya medan magnetik pada suatu kumparan selenoida jika didalamnya terdapat suatu bahan.



Gambar 2.15 Solenoida dengan Inti Kumparan  
(www.hyperphysics.phy-astr.gsu.edu)

Persamaan matematika untuk solenoida yang menggunakan inti kumparan adalah sebagai berikut:

$$B = k n i \quad (2.29)$$

Dimana,

$B$  = besar kuat medan magnet (weber/m<sup>2</sup>)  $k$

= konstanta kesebandingan

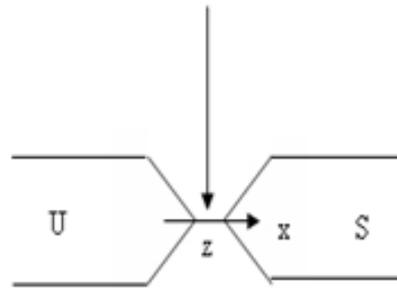
=  $K \cdot \mu_0$  = (Relative Permeability) =  $4 \pi \cdot 10^{-7}$

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

$i$  = kuat arus (A)

### 2.5.8 Gaya Tarik Magnet Didalam Kumparan Solenoida

Jika suatu benda bersifat paramagnetik atau ferromagnetik berada dalam medan magnet, benda tersebut akan cenderung tertarik pada daerah yang memiliki fluks medan magnet yang paling besar seperti terlihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Arah Gaya Tarik Magnet Terhadap Kuat Medan Magnet yang Lebih Besar  
(Iwasaki, 1993)

Gaya tarik magnet ini dipengaruhi oleh besar kuat medan magnet serta besarnya gradien medan magnet. Secara matematis besar gaya tarik di dalam medan magnet ini dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$F_m = \left( \frac{\chi}{\mu_0} \right) B \left( \frac{dB}{dz} \right) \quad (2.30)$$

Dimana,

$F_m$  = Gaya tarik magnet (N)

$\chi$  = Kemampuan kemagnetan suatu zat

$\mu_0$  = Permeabilitas ruang hampa =  $4 \pi \cdot 10^{-7}$

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

$(dB/dz)$  = Gradien medan magnet pada arah z

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan untuk menguji pengaruh medan elektromagnetik terhadap pembentukan partikel dan jenis kristal  $\text{CaCO}_3$  menggunakan sistem sirkulasi dinamis dan untuk menguji pengaruh variabel proses yang meliputi jumlah lilitan, frekuensi, besarnya tegangan dan jenis konfigurasi lilitan terhadap proses pengolahan air dengan menggunakan medan elektromagnetik pada larutan air sadah. Penelitian ini bertempat di Laboratorium Dasar Proses Kimia di Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Penelitian ini akan menggunakan 2 metode analisa yaitu:

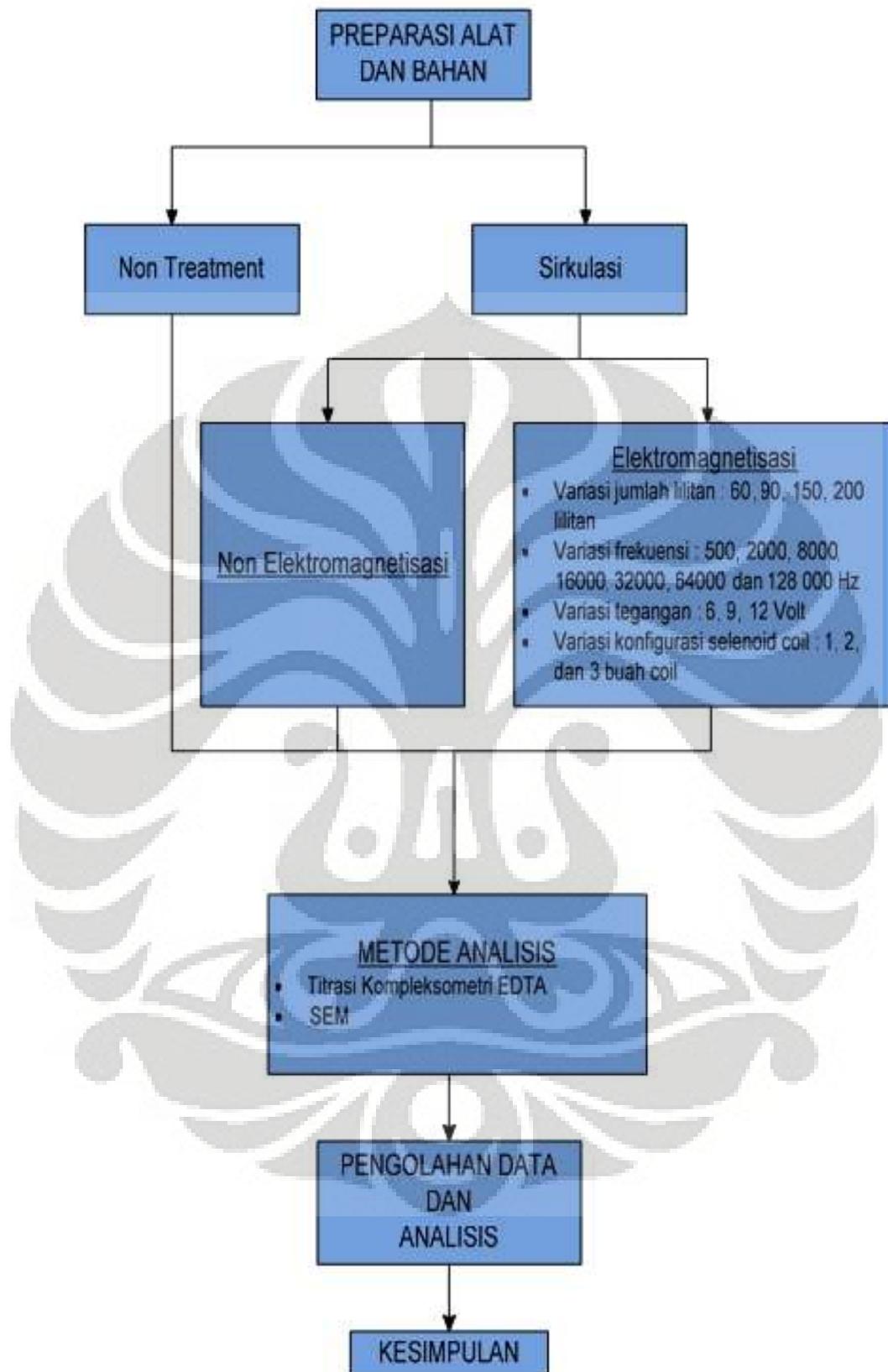
1. Titrasi kompleksometri EDTA

Uji kandungan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dengan titrasi kompleksometri EDTA dilakukan untuk mengetahui jumlah berat  $\text{CaCO}_3$  pada fasa permukaan. Pengukuran kesadahan ini didasarkan pada kandungan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dalam larutan yang digunakan untuk mengambil data kandungan  $\text{CaCO}_3$  dalam bentuk data persen presipitasi  $\text{CaCO}_3$  (%).

2. SEM (*Spectroscopy Electron Microscope*)

Analisis ini digunakan untuk mengamati presipitasi  $\text{CaCO}_3$  pada kaca preparat untuk mendapatkan jumlah, dan jenis kristal pada permukaan secara kualitatif. Analisis ini dilakukan di Laboratorium Metalografi - Departemen Teknik Metalurgi FTUI dengan mikroskop optik Olympus dan kamera BHM.

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



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Diagram Alir Penelitian

Pekerjaan utama dalam penelitian ini, pada dasarnya akan di bagi kedalam 6 tahap pekerjaan sebagai berikut :

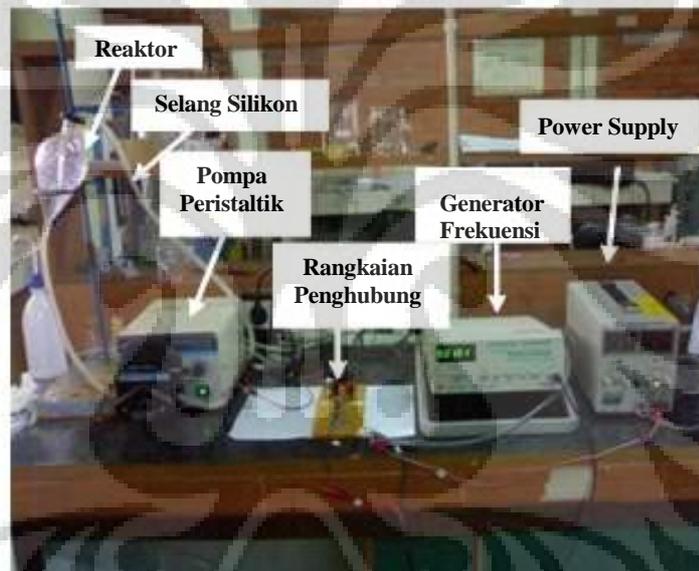
1. Preparasi larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  sebagai sampel air sadah dengan melarutkan bubuk  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  menggunakan aquades dengan konsentrasi 0,02 M.
2. *Setting* alat seperti yang terlihat pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3.
3. Magnetisasi air sadah dengan metode sirkulasi fluida dinamik dimana air sadah dilewatkan pada medan elektromagnetik dengan frekuensi osilasi tertentu. Skema proses dapat dilihat pada Gambar 3.2. Variasi yang dilakukan meliputi : jumlah lilitan, besarnya frekuensi, besarnya tegangan dan konfigurasi lilitan.
4. Preparasi titrasi kompleksometri EDTA. Pada tahap ini proses presipitasi  $\text{CaCO}_3$  dari sampel air sadah yang telah dimagnetisasi akan dilakukan dalam tabung diam (statis) dan akan dilakukan pengukuran kandungan  $\text{Ca}^{2+}$  dalam larutan. Pengukuran akan dilakukan sebagai fungsi waktu pengendapan guna mengamati laju presipitasi yang terjadi pada setiap variasi yang dilakukan.
5. Titrasi kompleksometri EDTA. Pada tahap ini dilakukan penambahan buffer pH 10 sebanyak 1 ml dan 1 tetes EBT kepada 10 ml sampel air sadah baik sebelum proses maupun setelah proses *treatment* dilakukan.
6. Analisa menggunakan SEM untuk beberapa sampel yang dilakukan di Laboratorium Metalografi - Departemen Teknik Metalurgi FTUI dengan mikroskop optik Olympus dan kamera BHM.

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

### 3.3 Uji Coba Instrumen

Uji coba instrumen digunakan untuk memastikan cara pengukuran dari alat yang akan digunakan termasuk kalibrasinya. Berikut penjelasan masing masing uji coba instrumen :

1. Medan listrik dihasilkan dari power supply DC yang dilengkapi dengan rangkaian generator frekuensi dan sebuah kawat yang dililitkan pada pipa tembaga yang akan dilewati air sadah. Skema alat dan proses dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan 3.3.
2. Titrasi kompleksometri EDTA yang digunakan untuk mengukur konsentrasi  $\text{Ca}^{2+}$  di larutan dilakukan dengan menggunakan mikroburet (akurasi 0,02 ml EDTA) Larutan penitran yang digunakan adalah larutan EDTA 0,01 M. Standarisasi larutan EDTA dilakukan dengan larutan standar  $\text{CaCO}_3$ .
3. Kaca preparat sebagai media deposit kerak  $\text{CaCO}_3$  digunakan untuk menganalisis struktur kristal di deposit dengan menggunakan SEM.



Gambar 3.2 Skema Alat



Gambar 3.3 Penampang Koil Solenoida

### 3.4 Preparasi Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan adalah

1. Peralatan *Electromagnetic Water Treatment*.

2. Selang silikon : digunakan untuk mensirkulasi larutan  $\text{CaCO}_3$ . Pipa silikon yang digunakan adalah pipa silikon dengan diameter 6 mm.
3. Kaca preparat : digunakan sebagai tempat menempelnya presipitan  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk. Hasilnya akan digunakan pada uji analisis SEM.
4. *Beaker glass* : digunakan untuk menampung larutan-larutan yang digunakan dalam penelitian.
5. Pompa peristaltik : digunakan untuk mensirkulasi larutan  $\text{CaCO}_3$ .
6. Labu ukur : digunakan untuk mengukur volume larutan.
7. Erlenmeyer : digunakan sebagai media titrasi kompleksometri EDTA
8. Pipet volumetrik : digunakan untuk mengukur volume larutan.
9. Pipet tetes : digunakan untuk mengambil larutan dalam jumlah kecil.
10. *Stopwatch* : digunakan untuk mengukur waktu sirkulasi.
11. Buret dan statik : digunakan untuk analisis larutan dengan menggunakan larutan EDTA.
12. Peralatan SEM : digunakan untuk analisis larutan  $\text{CaCO}_3$ .

Bahan-bahan yang digunakan adalah

1. Bubuk  $\text{NaHCO}_3$  : digunakan untuk membuat larutan sampel.
2. Bubuk  $\text{CaCl}_2$  : digunakan untuk membuat larutan sampel.
3. Bubuk  $\text{CaCO}_3$  : digunakan untuk standarisasi larutan  $\text{CaCO}_3$ .
4. Aquades : digunakan sebagai pelarut.
5. Larutan titran EDTA : digunakan sebagai zat penitran.
6. *Buffer* pH 10 : digunakan untuk mengkondisikan sampel uji berada pada pH 10.
7. Indikator Erio Black T (EBT) : digunakan sebagai indikator warna pada titrasi kompleksometri EDTA.
8. Larutan HCl : digunakan untuk melarutkan presipitan  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk pada tabung reaksi dan selang silikon.

### 3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian terdiri dari preparasi sampel yaitu pembuatan larutan natrium hidrogenkarbonat dan kalsium klorida masing-masing dengan konsentrasi

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. Preparasi sampel adalah tahapan terpenting dalam penelitian, sebab kesalahan analisis dapat terjadi karena adanya kesalahan dari preparasi sampel.

### **3.5.1 Pembuatan Larutan Natrium Hidrogenkarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ) 0,02 M**

1. Ditimbang 1,68 g padatan natrium hidrogenkarbonat.
2. Padatan dilarutkan dengan menggunakan aquades secukupnya pada gelas piala 250 ml hingga homogen.
3. Larutan dipindahkan secara kuantitatif ke dalam labu takar 1000 ml, dilakukan pembilasan dengan aquades.
4. Ditambahkan aquades sampai tanda batas.

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

1. Ditimbang 3,94 g padatan kalsium klorida dihidrat.
2. Padatan dilarutkan dengan menggunakan aquades secukupnya pada gelas piala 250 ml hingga homogen.
3. Larutan dipindahkan secara kuantitatif ke dalam labu takar 1000 ml, dilakukan pembilasan dengan aquades.
4. Ditambahkan aquades sampai tanda batas.

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

1. Ditimbang kristal titriplex III ( $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{Na}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) 4,000 g.
2. Padatan dilarutkan dengan menggunakan aquades secukupnya pada gelas piala 250 ml hingga homogen.
3. Larutan dipindahkan secara kuantitatif ke dalam labu takar 1000 ml, dilakukan pembilasan dengan aquades.
4. Ditambahkan aquades sampai tanda batas.

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

1. Dipipet 4,2 mL larutan HCl 12 M menggunakan pipet volum.

2. Larutan dipindahkan ke dalam labu takar 500 mL yang sudah berisi aquades.
3. Ditambahkan aquades sampai batas tera pada labu takar.

### **3.5.5 Pembuatan Larutan Buffer pH 10**

1. Ditimbang 0,616 gram  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .
2. Ditimbang 0,930 gram Titriplex III.
3. Keduanya dicampur ke dalam gelas ukur dan dilarutkan dengan 25 mL aquades.
4. Ditimbang 67,5 gram  $\text{NH}_4\text{Cl}$  dan larutkan dengan 100 mL aquades.
5. Kedua larutan dicampur dalam labu takar 1 liter dan ditambahkan 798 ml amonia 25%, lalu ditera dengan aquades sampai tanda batas tera kemudian dikocok agar homogen.

### **3.5.6 Pembuatan Larutan Standarisasi EDTA**

1. Timbang 0,500 gram  $\text{CaCO}_3$  murni ( $\text{CaCO}_3$  sudah dioven selama  $\pm 1$  jam pada suhu  $105^\circ\text{C}$ ).
2. Tambahkan HCl pekat tetes demi tetes sampai  $\text{CaCO}_3$  larut sempurna.
3. Tambahkan aquades 100 ml, panaskan hingga mendidih untuk menghilangkan gas  $\text{CO}_2$ .
4. Masukkan ke labu takar 500 ml dan bilas dengan aquades.
5. Tambahkan NaOH 0,1 N untuk menetralkan hingga pH 7-8 dengan menggunakan indikator Brom Phenol Blue 0,01% perubahan warna : kuning menjadi biru.
6. Tera larutan dengan aquades.

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

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

### 3.6 Prosedur Pengujian

#### 3.6.1 Prosedur Uji pada Larutan (*Homogenous Precipitation*)

Pengujian ini dilakukan dengan mengukur kandungan ion kalsium di dalam larutan. Variabel proses yang akan divariasikan adalah frekuensi, besarnya tegangan, jumlah lilitan, dan jenis konfigurasi lilitan.

##### 3.6.1.1 Frekuensi

1. Preparasi 50 ml larutan  $\text{NaHCO}_3$  0,02 M dan 50 ml larutan  $\text{CaCl}_2$  0,02 M.
2. Tuang kedua larutan ke dalam reservoir.
3. Preparasi alat seperti pada Gambar 3.3 dengan variasi frekuensi 500, 2000, 8000, 16000, 32000, 64000, dan 128000 Hz.
4. Kondisi yang dibuat tetap

Variabel Proses		Variabel Kondisi Operasi	
Jenis	Besar	Jenis	Besar
• Jumlah lilitan	150	• Laju alir	19,02 ml/s
• Tegangan	12 Volt	• Konsentrasi	0,02 M
• Konfigurasi lilitan	1 <i>Coil</i>	• Lama sirkulasi	10 menit

5. Menyalakan pompa dan sirkulasi.
6. Setelah *treatment*, kemudian dilakukan pengujian kandungan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dengan titrasi kompleksometri EDTA tepat setelah sirkulasi, 60 menit, 300 menit dan 1500 menit setelah sirkulasi dengan cara menambahkan buffer pH 10 sebanyak 1 ml dan 1 tetes EBT kepada 10 ml sampel sebelumnya.

##### 3.6.1.2 Besarnya Tegangan

1. Preparasi 50 ml larutan  $\text{NaHCO}_3$  0,02 M dan 50 ml larutan  $\text{CaCl}_2$  0,02 M.
2. Tuang kedua larutan ke dalam reservoir.
3. Preparasi alat seperti pada Gambar 3.3 dengan variasi tegangan sebesar 6 volt, 9 volt dan 12 volt.
4. Kondisi yang dibuat tetap

Variabel Proses		Variabel Kondisi Operasi	
Jenis	Besar	Jenis	Besar
• Frekuensi	500 Hz	• Laju alir	19,02 ml/s
• Jumlah lilitan	150	• Konsentrasi	0,02 M
• Konfigurasi lilitan	1 <i>Coil</i>	• Lama sirkulasi	10 menit

- Menyalakan pompa dan sirkulasi.
- Setelah *treatment*, kemudian dilakukan pengujian kandungan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dengan titrasi kompleksometri EDTA tepat setelah sirkulasi, 60 menit, 300 menit dan 1500 menit setelah sirkulasi dengan cara menambahkan buffer pH 10 sebanyak 1 ml dan 1 tetes EBT kepada 10 ml sampel sebelumnya.

### 3.6.1.3 Jumlah Lilitan

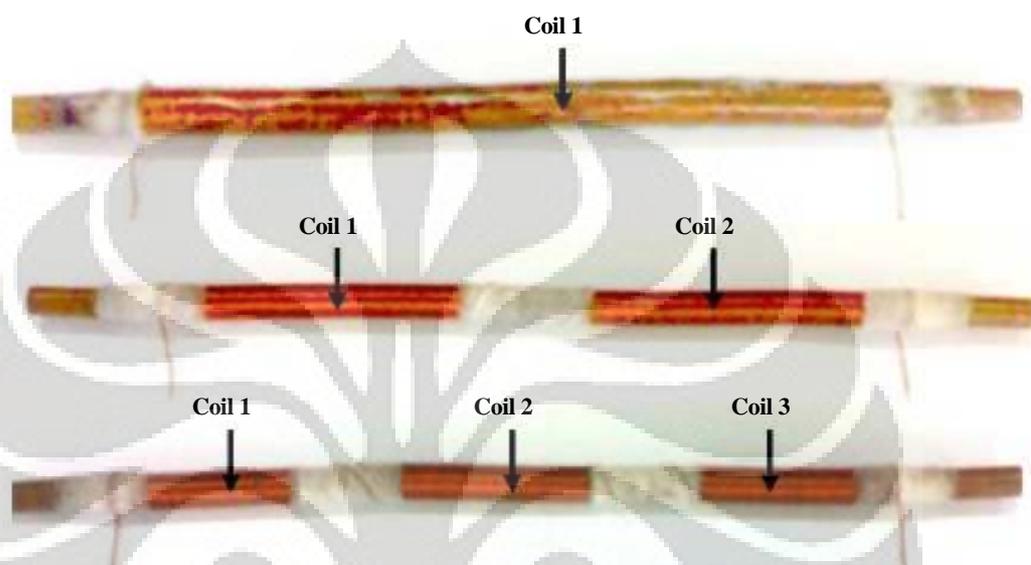
- Preparasi 50 ml larutan  $\text{NaHCO}_3$  0,02 M dan 50 ml larutan  $\text{CaCl}_2$  0,02 M.
- Tuang kedua larutan ke dalam reservoir.
- Preparasi alat seperti pada Gambar 3.3 dengan variasi jumlah lilitan 60, 90, 150 dan 200 lilitan.
- Kondisi yang dibuat tetap

Variabel Proses		Variabel Kondisi Operasi	
Jenis	Besar	Jenis	Besar
• Frekuensi	500 Hz	• Laju alir	19,02 ml/s
• Tegangan	12 Volt	• Konsentrasi	0,02 M
• Konfigurasi lilitan	1 <i>Coil</i>	• Lama sirkulasi	10 menit

- Menyalakan pompa dan sirkulasi.
- Setelah *treatment*, kemudian dilakukan pengujian kandungan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dengan titrasi kompleksometri EDTA tepat setelah sirkulasi, 60 menit, 300 menit dan 1500 menit setelah sirkulasi dengan cara menambahkan buffer pH 10 sebanyak 1 ml dan 1 tetes EBT kepada 10 ml sampel sebelumnya.

### 3.6.1.4 Jenis Konfigurasi Lilitan

1. Preparasi 50 ml larutan  $\text{NaHCO}_3$  0,02 M dan 50 ml larutan  $\text{CaCl}_2$  0,02 M.
2. Tuang kedua larutan ke dalam reservoir.
3. Preparasi alat seperti pada Gambar 3.3 dengan variasi konfigurasi lilitan sebanyak 1 *coil*, 2 *coil* dan 3 *coil*.



Gambar 3.4 Konfigurasi Lilitan Berturut-turut 1, 2 dan 3 *Coil*

4. Kondisi yang dibuat tetap

Variabel Proses		Variabel Kondisi Operasi	
Jenis	Besar	Jenis	Besar
• Frekuensi	500 Hz	• Laju alir	19,02 ml/s
• Tegangan	12 Volt	• Konsentrasi	0,02 M
• Jumlah lilitan	150	• Lama sirkulasi	10 menit

5. Menyalakan pompa dan sirkulasi.
6. Setelah *treatment*, kemudian dilakukan pengujian kandungan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dengan titrasi kompleksometri EDTA tepat setelah sirkulasi, 60 menit, 300 menit dan 1500 menit setelah sirkulasi dengan cara menambahkan buffer pH 10 sebanyak 1 ml dan 1 tetes EBT kepada 10 ml sampel sebelumnya.

### 3.6.1.5 Tanpa Menggunakan Medan Elektromagnetik

1. Preparasi 50 ml larutan  $\text{NaHCO}_3$  0,02 M dan 50 ml larutan  $\text{CaCl}_2$  0,02 M.
2. Tuang kedua larutan ke dalam reservoir.
3. Preparasi alat seperti pada Gambar 3.3 dengan mematikan peralatan *electromagnetic water treatment*
4. Kondisi yang dibuat tetap

Variabel Kondisi Operasi	
Jenis	Besar
• Laju alir	1,2 m/s
• Konsentrasi	0,02 M
• Lama sirkulasi	10 menit

5. Menyalakan pompa dan sirkulasi.
6. Setelah *treatment*, kemudian dilakukan pengujian kandungan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dengan titrasi kompleksometri EDTA tepat setelah sirkulasi, 60 menit, 300 menit dan 1500 menit setelah sirkulasi dengan cara menambahkan buffer pH 10 sebanyak 1 ml dan 1 tetes EBT kepada 10 ml sampel sebelumnya.

### 3.6.2 Prosedur Uji pada Endapan (*Heterogenous Precipitation*)

Pengujian ini dilakukan dengan mengamati endapan *scale* pada permukaan. Percobaan ini dilakukan pada permukaan kaca preparat. Variabel proses yang akan divariasikan adalah frekuensi, besarnya tegangan, jumlah lilitan, dan jenis konfigurasi lilitan.

#### 3.6.2.1 Frekuensi

1. Preparasi 50 ml larutan  $\text{NaHCO}_3$  0,02 M dan 50 ml larutan  $\text{CaCl}_2$  0,02 M.
2. Tuang kedua larutan ke dalam reservoir.
3. Preparasi alat seperti pada Gambar 3.3 dengan variasi frekuensi 500, 2000, 8000, 16000, 32000, 64000, dan 128000 Hz.
4. Kondisi yang dibuat tetap

Variabel Proses		Variabel Kondisi Operasi	
Jenis	Besar	Jenis	Besar
• Jumlah lilitan	150	• Laju alir	19,02 ml/s
• Tegangan	12 Volt	• Konsentrasi	0,02 M
• Konfigurasi lilitan	1 <i>Coil</i>	• Lama sirkulasi	10 menit

5. Menyalakan pompa dan sirkulasi.
6. Setelah *treatment*, larutan dituangkan ke dalam erlenmeyer kemudian masukkan plastik beningan tipis yang telah dibuat menyerupai huruf T kedalamnya.



Gambar 3.5 Preparasi Larutan Untuk Uji SEM

7. Sampel didiamkan selama satu hari. Setelah itu plastik dikeringkan pada suhu ruang dengan menggunakan desikator.
8. Dilakukan analisa menggunakan SEM di Laboratorium Metalografi - Departemen Teknik Metalurgi FTUI dengan mikroskop optik Olympus dan kamera BHM

### 3.6.2.2 Besarnya Tegangan

1. Preparasi 50 ml larutan  $\text{NaHCO}_3$  0,02 M dan 50 ml larutan  $\text{CaCl}_2$  0,02 M.
2. Tuang kedua larutan ke dalam reservoir.
3. Preparasi alat seperti pada Gambar 3.3 dengan variasi tegangan sebesar 6 volt, 9 volt dan 12 volt.
4. Kondisi yang dibuat tetap

Variabel Proses		Variabel Kondisi Operasi	
Jenis	Besar	Jenis	Besar
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frekuensi</li> <li>• Jumlah lilitan</li> <li>• Konfigurasi lilitan</li> </ul>	500 Hz  150  1 <i>Coil</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laju alir</li> <li>• Konsentrasi</li> <li>• Lama sirkulasi</li> </ul>	19,02 ml/s  0,02 M  10 menit

5. Menyalakan pompa dan sirkulasi.
6. Setelah *treatment*, larutan dituangkan ke dalam erlenmeyer kemudian masukkan plastik bening tipis yang telah dibuat menyerupai huruf T kedalamnya.
7. Sampel didiamkan selama satu hari. Setelah itu plastik dikeringkan pada suhu ruang dengan menggunakan desikator.
8. Dilakukan analisa menggunakan SEM di Laboratorium Metalografi - Departemen Teknik Metalurgi FTUI dengan mikroskop optik Olympus dan kamera BHM

### 3.6.2.3 Jumlah Lilitan

1. Preparasi 50 ml larutan  $\text{NaHCO}_3$  0,02 M dan 50 ml larutan  $\text{CaCl}_2$  0,02 M.
2. Tuang kedua larutan ke dalam reservoir.
3. Preparasi alat seperti pada Gambar 3.3 dengan variasi jumlah lilitan 60, 90, 150 dan 200 lilitan.
4. Kondisi yang dibuat tetap

Variabel Proses		Variabel Kondisi Operasi	
Jenis	Besar	Jenis	Besar
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frekuensi</li> <li>• Tegangan</li> <li>• Konfigurasi lilitan</li> </ul>	500 Hz  12 Volt  1 <i>Coil</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laju alir</li> <li>• Konsentrasi</li> <li>• Lama sirkulasi</li> </ul>	19,02 ml/s  0,02 M  10 menit

5. Menyalakan pompa dan sirkulasi.

6. Setelah *treatment*, larutan dituangkan ke dalam erlenmeyer kemudian masukkan plastik bening tipis yang telah dibuat menyerupai huruf T kedalamnya.
7. Sampel didiamkan selama satu hari. Setelah itu plastik dikeringkan pada suhu ruang dengan menggunakan desikator.
8. Dilakukan analisa menggunakan SEM di Laboratorium Metalografi - Departemen Teknik Metalurgi FTUI dengan mikroskop optik Olympus dan kamera BHM

#### 3.6.2.4 Jenis Konfigurasi Lilitan

1. Preparasi 50 ml larutan  $\text{NaHCO}_3$  0,02 M dan 50 ml larutan  $\text{CaCl}_2$  0,02 M.
2. Tuang kedua larutan ke dalam reservoir.
3. Preparasi alat seperti pada Gambar 3.3 dengan variasi konfigurasi lilitan sebanyak 1 *coil*, 2 *coil* dan 3 *coil*.
4. Kondisi yang dibuat tetap

Variabel Proses		Variabel Kondisi Operasi	
Jenis	Besar	Jenis	Besar
• Frekuensi	500 Hz	• Laju alir	19,02 ml/s
• Tegangan	12 Volt	• Konsentrasi	0,02 M
• Jumlah lilitan	150	• Lama sirkulasi	10 menit

5. Menyalakan pompa dan sirkulasi.
6. Setelah *treatment*, larutan dituangkan ke dalam erlenmeyer kemudian masukkan plastik bening tipis yang telah dibuat menyerupai huruf T kedalamnya.
7. Sampel didiamkan selama satu hari. Setelah itu plastik dikeringkan pada suhu ruang dengan menggunakan desikator.
8. Dilakukan analisa menggunakan SEM di Laboratorium Metalografi - Departemen Teknik Metalurgi FTUI dengan mikroskop optik Olympus dan kamera BHM

### 3.6.2.5 Tanpa Menggunakan Medan Elektromagnetik

1. Preparasi 50 ml larutan  $\text{NaHCO}_3$  0,02 M dan 50 ml larutan  $\text{CaCl}_2$  0,02 M.
2. Tuang kedua larutan ke dalam reservoir.
7. Preparasi alat seperti pada Gambar 3.3 dengan mematikan peralatan *electromagnetic water treatment*.
8. Kondisi yang dibuat tetap

Variabel Kondisi Operasi	
Jenis	Besar
• Laju alir	19,02 ml/s
• Konsentrasi	0,02 M
• Lama sirkulasi	10 menit

5. Menyalakan pompa dan sirkulasi.
6. Setelah *treatment*, larutan dituangkan ke dalam erlenmeyer kemudian masukkan plastik bening tipis yang telah dibuat menyerupai huruf T kedalamnya.
7. Sampel didiamkan selama satu hari. Setelah itu plastik dikeringkan pada suhu ruang dengan menggunakan desikator.
8. Dilakukan analisa menggunakan SEM di Laboratorium Metalografi - Departemen Teknik Metalurgi FTUI dengan mikroskop optik Olympus dan kamera BHM

### 3.7 Prosedur Analisis

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

#### 3.7.1 Analisis Presipitasi $\text{CaCO}_3$ dengan Titrasi Kompleksometri EDTA

Analisis kandungan  $\text{Ca}^{2+}$  dilakukan dengan titrasi kompleksometri menggunakan larutan EDTA sebagai titran. Kesadahan dapat diukur secara langsung dengan titrasi *Etilen Diamine Tetra Asetat* (EDTA) dan garam natriumnya yang membentuk larutan kompleks ketika ditambahkan ke larutan

yang mengandung kation logam. Indikator yang digunakan adalah Erio Black T (EBT) yang jika digunakan ke dalam larutan dengan kation divalensi membentuk senyawa kompleks berwarna merah dengan pH  $10 \pm 0,1$ . EDTA akan menggantikan senyawa EBT dalam senyawa kompleks, dan ketika penggantian telah sempurna, larutan akan berubah warna dari merah menjadi biru.



Gambar 3.6 Analisis Sampel Titration Kompleksiometri EDTA Sebelum Titration (merah) dan Setelah Titration (biru).  
(www.wikipedia.org)

Dalam metode ini, larutan EDTA 0,01 M harus distandarisasi untuk mengetahui konsentrasi dari EDTA saat akan digunakan untuk pengukuran sampel larutan percobaan. Prosedur standarisasi dan analisa sampel dilakukan sebagai berikut :

#### 3.7.1.1 Standarisasi Larutan EDTA

1. Pipet 10 mL larutan  $\text{CaCO}_3$  ke dalam erlenmeyer 250 mL.
2. Ditambahkan 1 mL larutan *buffer* pH 10.
3. Ditambahkan 1 tetes indikator EBT.
4. Dititrasi dengan titran EDTA 0,01 M.
5. Standarisasi dilakukan seminggu sekali.

#### 3.7.1.2 Analisis Sampel Larutan

1. 10 mL larutan sampel dituang ke dalam erlenmeyer 250 mL.
2. Ditambahkan 1 mL larutan *buffer* pH 10 dan 1 tetes indikator EBT sehingga larutan menjadi berwarna merah violet / keunguan.

3. Dicatat volume awal titran EDTA 0,01 M di buret, lalu titrasi perlahan-lahan sampai diperoleh perubahan warna larutan menjadi biru kemudian titrasi dihentikan.
4. Dicatat volume akhir titrasi (volume larutan EDTA).

### 3.7.2 Uji Foto Mikroskopik dengan SEM

1. Kaca preparat yang siap untuk difoto, terlebih dahulu dilapisi dengan V-Au (Vanadium-Aurum), pelapisan dilakukan dengan menggunakan alat *Vacuum Rubber Seal* (Gambar 3.7).
2. Kaca preparat divakum dengan alat *Vacuum Rubber Seal* tersebut sampai mencapai tekanan 10 Pa atau  $10^{-1}$  mbar.



Gambar 3.7 *Vacuum Rubber Seal*

3. Kaca preparat tersebut divakumkan kembali di alat SEM (Gambar 3.8) selama 30 menit.
4. Setelah semuanya selesai, sampel deposit pada kaca preparat siap untuk difoto dengan mengambil beberapa perbesaran dan posisi.



Gambar 3.8 Seperangkat Alat SEM

### 3.8 Pengolahan Data

#### 3.8.1 Standarisasi EDTA 0,01 M

$$[EDTA] = \frac{m_{CaCO_3}}{BM_{CaCO_3}} \cdot \frac{1000 \text{ ml}}{V_{CaCO_3}} \cdot \frac{V_{EDTA \text{ standarisasi}}}{V_{\text{sampel}}} \quad (3.1)$$

Dimana :

- [ EDTA ] = Konsentrasi EDTA yang sebenarnya (  $\frac{\text{mol}}{\text{L}}$  )
- $V_{CaCO_3 \text{ standar}}$  = Volume  $CaCO_3$  standar yang di buat atau Volume  $CaCO_3$  induk (ml)
- $m_{CaCO_3}$  = Massa  $CaCO_3$  standar yang di timbang (g)
- $BM_{CaCO_3}$  = Berat Molekul  $CaCO_3$  (g/mol)
- $V_{EDTA \text{ standarisasi}}$  = Volume EDTA yang dibutuhkan untuk menitar  $CaCO_3$  standar (ml)
- $V_{CaCO_3 \text{ sampel}}$  = Volume standar yang dititar dengan EDTA (ml)

#### 3.8.2 Perhitungan Konsentrasi $CaCO_3$ yang Terbentuk dalam ppm

Rumus ini berlaku pada penentuan  $CaCO_3$  di larutan maupun di deposit.

$$ppm_{CaCO_3} = \frac{M_{EDTA} \times V_{EDTA} \times 1000 \text{ mg}}{V_{CaCO_3} \times BM_{CaCO_3}} \times \frac{m_{CaCO_3}}{BM_{CaCO_3}} \times \frac{V_{CaCO_3 \text{ standar}}}{1000 \text{ ml}} \quad (3.2)$$

Dimana :

$\text{ppm}_{\text{CaCO}_3}$  = Konsentrasi  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk pada proses presipitasi  $\text{mg/l}$

[ EDTA ] = Konsentrasi EDTA yang telah distandarisasi ( $\text{mol/l}$ )

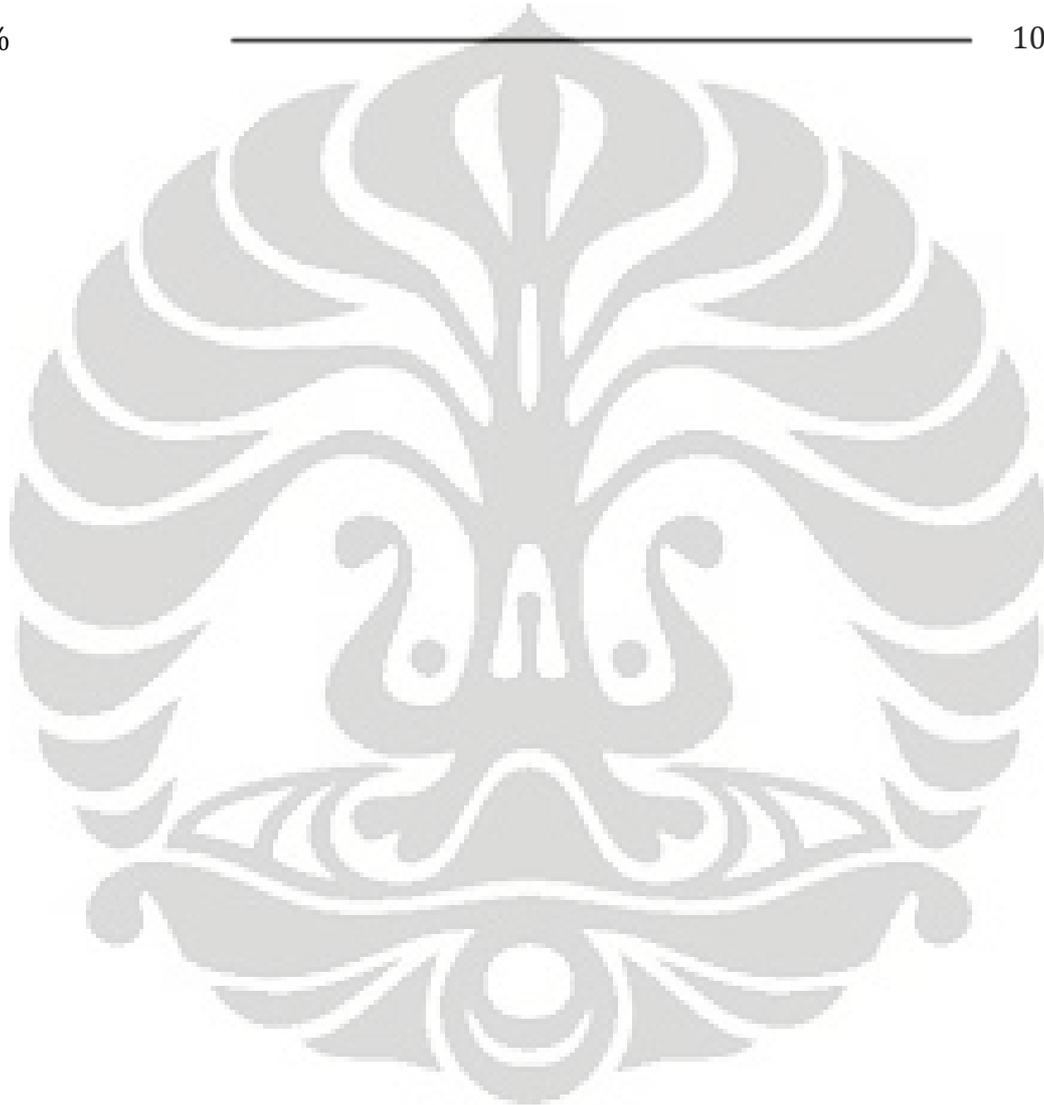
$V_{\text{EDTA}}$  = Volume EDTA yang dibutuhkan untuk menitar larutan contoh (ml)

$V_{\text{CaCl}_2}$  = Volume  $\text{CaCl}_2$  yang ditambahkan (ml)

menentukan presentase presipitasinya, maka digunakan persamaan :

%

100%



## BAB 4 PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas tentang efek medan elektromagnetik terhadap presipitasi  $\text{CaCO}_3$  dengan variasi besarnya frekuensi, tegangan, jumlah lilitan dan konfigurasi lilitan pada *solenoid coil* dengan menggunakan model larutan  $\text{CaCO}_3$  presipitasi lambat yang dibuat dari larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  dengan konsentrasi masing-masing sebesar 0,02 M. Penggunaan model presipitasi ini bertujuan agar proses yang terjadi dalam pembentukan partikel  $\text{CaCO}_3$  lebih teramati karena lambatnya reaksi yang terjadi. Model ini dipandang lebih mendekati keadaan yang sebenarnya yang terjadi di alam daripada model presipitasi cepat yang dibuat dengan menggunakan larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$ . Dalam bab ini juga akan dibahas mengenai jenis kristal  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk yang diamati dengan menggunakan hasil analisis dengan menggunakan SEM.

Bab ini hanya membahas mengenai hasil yang telah dicapai selama penelitian beserta analisisnya. Keterangan lain seperti data, perhitungan, dan pengolahan data ada pada lampiran.

### 4.1 Presipitasi $\text{CaCO}_3$ Total

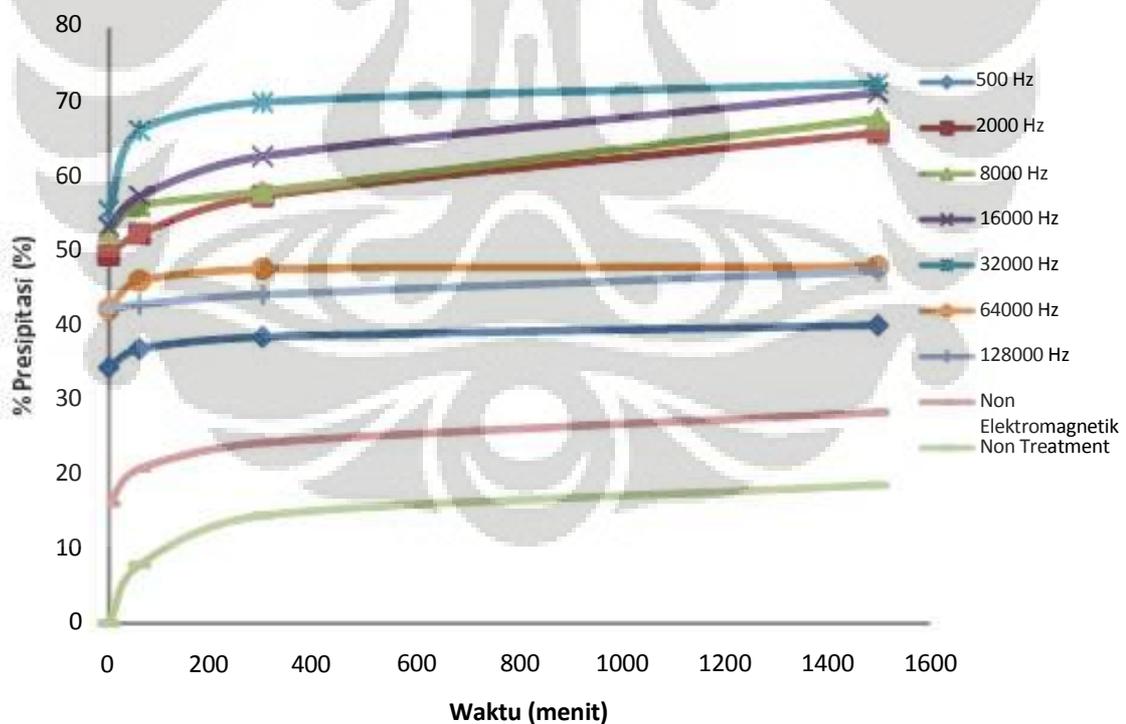
Pengujian presipitasi  $\text{CaCO}_3$  total dilakukan dengan cara mencampurkan 50 ml larutan  $\text{NaHCO}_3$  0,02 M dengan 50 ml larutan  $\text{CaCl}_2$  0,02 M. Pengujian dilakukan dengan metode titrasi kompleksometri EDTA yaitu dengan mengukur kandungan  $\text{Ca}^{2+}$  yang terdapat di dalam larutan yang mengindikasikan banyaknya  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk. Data persentase presipitasi  $\text{CaCO}_3$  total dapat ditentukan dengan membandingkan hasil analisis  $\text{Ca}^{2+}$  sebelum proses *treatment* ( $\text{CaCl}_2$  0,02 M awal) dengan kandungan  $\text{Ca}^{2+}$  di larutan setelah proses *treatment* untuk setiap waktu tertentu. Kandungan ion kalsium ini merupakan suatu parameter yang diukur untuk melihat pengaruh medan elektromagnetik terhadap proses presipitasi  $\text{CaCO}_3$ . Disini juga dilakukan pengamatan terhadap laju presipitasi untuk setiap sampel dari seluruh variasi yang dilakukan. Pengamatan ini dilakukan dengan cara membiarkan larutan sampel di dalam suatu wadah selama kurun waktu tertentu untuk diuji kandungan ion  $\text{Ca}^{2+}$  yang tersisa. Pengujian larutan sampel ini

dilakukan dengan cara mentitrasi 10 ml sampel yang telah *ditreatment* dengan menggunakan larutan EDTA 0,01 M dengan mencampurkan 1 tetes EBT dan 1 ml buffer pH 10.

#### 4.1.1 Variasi Frekuensi

Frekuensi merupakan suatu parameter yang menentukan besarnya presipitasi yang terjadi pada larutan  $\text{CaCO}_3$ . Frekuensi dapat membuat tumbukan antar ion yang satu dengan yang lainnya menjadi semakin efektif yang dapat membuat proses presipitasi menjadi semakin baik. Variasi frekuensi ini dilakukan dengan cara memperbesar frekuensi pada peralatan *electromagnetic water treatment* dengan membuat tetap variabel-variabel lain seperti tegangan, jumlah lilitan, konfigurasi lilitan, lama sirkulasi, laju sirkulasi dan konsentrasi masing-masing larutan.

Gambar 4.1 berikut ini menggambarkan grafik persen presipitasi  $\text{CaCO}_3$  total untuk 0, 60, 300, dan 1500 menit setelah *treatment* dengan frekuensi tertentu serta sampel non-elektromagnetik dan *non-treatment* terhadap waktu presipitasi.



Gambar 4.1 Pengaruh Frekuensi terhadap Presipitasi  $\text{CaCO}_3$  Total dengan Waktu Presipitasi 0 Sampai 1500 Menit dengan Kondisi Tegangan 12 Volt, 150 Lilitan, Konfigurasi Lilitan Dibuat Tanpa Segmen (1 *coil*), Lama Sirkulasi 10 Menit, Laju Sirkulasi 19,02 ml/s dan Konsentrasi Larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  Masing-Masing 0,02 M.

Dari Gambar 4.1 di atas terlihat bahwa presipitasi merupakan fungsi dari waktu, dimana seiring dengan bertambahnya waktu maka persentase presipitasi yang terbentuk juga semakin meningkat. Terjadi peningkatan presipitasi selama 10 menit *treatment* dimana efeknya berlanjut hingga 1500 menit setelah *treatment*. Pengaruh yang signifikan yang terjadi akibat penggunaan sirkulasi dinamik juga terlihat disini yaitu pada kurva non-elektromagnetik dan kurva *nontreatment*. Sampel non-elektromagnetik dilakukan dengan cara mematikan peralatan *elektromagnetic water treatment* dan larutan tetap disirkulasi selama 10 menit. Sedangkan sampel non-treatment adalah sampel yang kepadanya tidak dilakukan perlakuan *treatment* sama sekali.

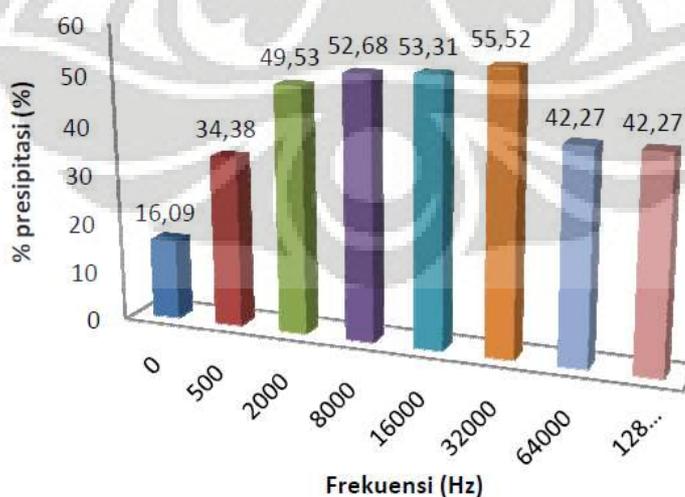
Penggunaan sistem sirkulasi dapat mempercepat proses presipitasi antara  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  menjadi molekul  $\text{CaCO}_3$ . Hal ini terbukti dari hasil yang didapat pada kurva hasil penelitian yang menunjukkan bahwa keberadaan kurva non-elektromagnetik selalu berada diatas kurva non-*treatment*. Hal ini berarti bahwa disetiap saat, persen presipitasi sampel dengan sirkulasi akan lebih tinggi daripada persen presipitasi sampel tanpa sirkulasi. Penjelasan tentang fenomena sirkulasi ini dapat dijawab dengan melihat keadaan suatu ion di dalam larutan sebelum sirkulasi dilakukan.  $\text{Ca}^{2+}$  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  $\text{CaCO}_3$ . Sifat interaksi ion dengan molekul air relatif lebih kuat dibanding ikatan / interaksi hidrogen antar molekul air namun kekuatan interaksi hidrat ion dapat dipengaruhi oleh agitasi mekanik berupa pengadukan dan pemompaan. Pada sistem ini digunakan sistem pemompaan dengan menggunakan pompa peristaltik. Selang yang digunakan ialah pipa berbahan silikon yang cukup lentur. Penggunaan pipa ini bertujuan untuk meminimalisir efek kontak antara larutan sampel dengan pompa sehingga kita dapat memastikan bahwa fenomena yang terjadi ialah disebabkan oleh faktor sirkulasi. Proses pemompaan air sadah menyebabkan terganggunya hidrat ion dan dapat memicu lepasnya gas  $\text{CO}_2$  di larutan ke udara. Agitasi yang ditimbulkan oleh proses sirkulasi dapat mempercepat pembentukan ion  $\text{CO}_3^{2-}$  dan  $\text{CO}_2$  terlarut dari  $\text{HCO}_3^-$  sesuai dengan reaksi



sehingga dapat meningkatkan interaksi ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  yang pada akhirnya akan mempercepat terbentuknya inti  $\text{CaCO}_3$ . Sementara itu  $\text{CO}_2$  terlarut yang dihasilkan akan berubah fasa menjadi gas dan lepas ke udara.

Peningkatan persen presipitasi terjadi sangat tajam diantara kesembilan sampel pada pengujian setelah sirkulasi. Hal ini terlihat dengan meningkatnya titik awal presipitasi (*non-treatment* : tidak terpresipitasi, *non-elektromagnetik* : mencapai 16,08%, frekuensi 500 Hz : mencapai 34,38%, frekuensi 2000 Hz : mencapai 49,53%, frekuensi 8000 Hz : 52,68%, frekuensi 16000 Hz : mencapai 53,31%, frekuensi 32000 Hz mencapai : 55,52%, frekuensi 64000 Hz : mencapai 42,27% dan frekuensi 128000 Hz : mencapai 42,27%) pada nilai tertentu. Hal ini menandakan bahwa proses *treatment* yang dilakukan berjalan efektif terlihat dari perbedaan titik awal yang terjadi. Sementara itu, setelah *treatment* dihentikan proses presipitasi masih terus berlangsung hingga 1500 menit setelah *treatment* yang dapat dilihat pada kurva masing-masing sampel untuk setiap frekuensi yang diberikan. Laju presipitasi cenderung menurun seiring dengan berjalannya waktu terlihat dari melandainya kemiringan dari kurva pada masing-masing sampel.

Semakin tinggi frekuensi yang digunakan maka akan semakin tinggi pula persen presipitasinya akan tetapi pada suatu frekuensi tertentu persen presipitasi akan turun kembali.. Hal ini dibuktikan dengan hasil yang diperoleh dalam penelitian yang terlihat dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Pengaruh Frekuensi terhadap Presipitasi  $\text{CaCO}_3$  Total Sesaat S etelah Sirkulasi

Terlihat dari Gambar 4.2 bahwa kenaikan tajam pada diagram frekuensi ini terjadi hingga frekuensi 2000 Hz (49,52%). Sementara itu pada frekuensi yang lebih besar dari 2000 Hz pertumbuhan diagram cenderung melambat dengan intensitas presipitasi  $\text{CaCO}_3$  yang terus naik hingga frekuensi 32000 Hz. Setelah frekuensi 32000 Hz, Diagram presipitasi akan cenderung menurun. Hal ini berarti bahwa penggunaan frekuensi tinggi justru akan menghambat proses presipitasi itu sendiri. Kehadiran suatu frekuensi pada proses presipitasi  $\text{CaCO}_3$  mempunyai dua efek yang saling bertolak belakang. Frekuensi dapat mempercepat terjadinya presipitasi dan disisi lain frekuensi juga dapat menghambat terjadinya proses presipitasi. Frekuensi dapat membuat tumbukan antar ion yang satu dengan yang lainnya menjadi semakin efektif. Efek frekuensi ini akan menghilang segera setelah proses *treatment* dihentikan. Dari sifat yang dimiliki oleh frekuensi ini kita akan mendapatkan suatu kondisi optimum untuk mencapai tingkat presipitasi tertinggi yang dapat dicapai oleh sistem jenis ini yaitu frekuensi sekitar 32000 Hz.

Proses pembentukan partikel  $\text{CaCO}_3$  diawali dengan aglomerasi ion-ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  membentuk kluster. Interaksi yang lebih kuat menyebabkan kluster tersebut membentuk inti koloid dan akan tumbuh menjadi kristal yang stabil. Pemberian frekuensi tinggi pada air akan menghasilkan air dengan kluster yang lebih kecil yang dapat berdifusi lebih cepat daripada air dengan kluster yang lebih besar (Colic & Morse, 1997). Air dengan kluster yang berukuran lebih besar memiliki reaktivitas yang lebih rendah. Jadi, pemberian frekuensi tinggi pada air sadah akan memodifikasi permukaan air sadah tersebut untuk membentuk kluster yang lebih kecil sehingga rintangan sterik yang berada diantara ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  akan terbuka dan presipitasi  $\text{CaCO}_3$  akan lebih mudah terjadi. Semakin tinggi frekuensi yang diberikan hingga 32000 Hz maka akan semakin kecil kluster air yang dihasilkan dan akan semakin terbuka rintangan sterik yang terjadi sehingga akan menghasilkan presipitasi  $\text{CaCO}_3$  yang lebih besar hal ini terlihat pada gambar 4.2 dimana semakin tinggi frekuensi yang diberikan hingga 32000 Hz maka akan semakin besar persen presipitasi  $\text{CaCO}_3$  yang dihasilkan.

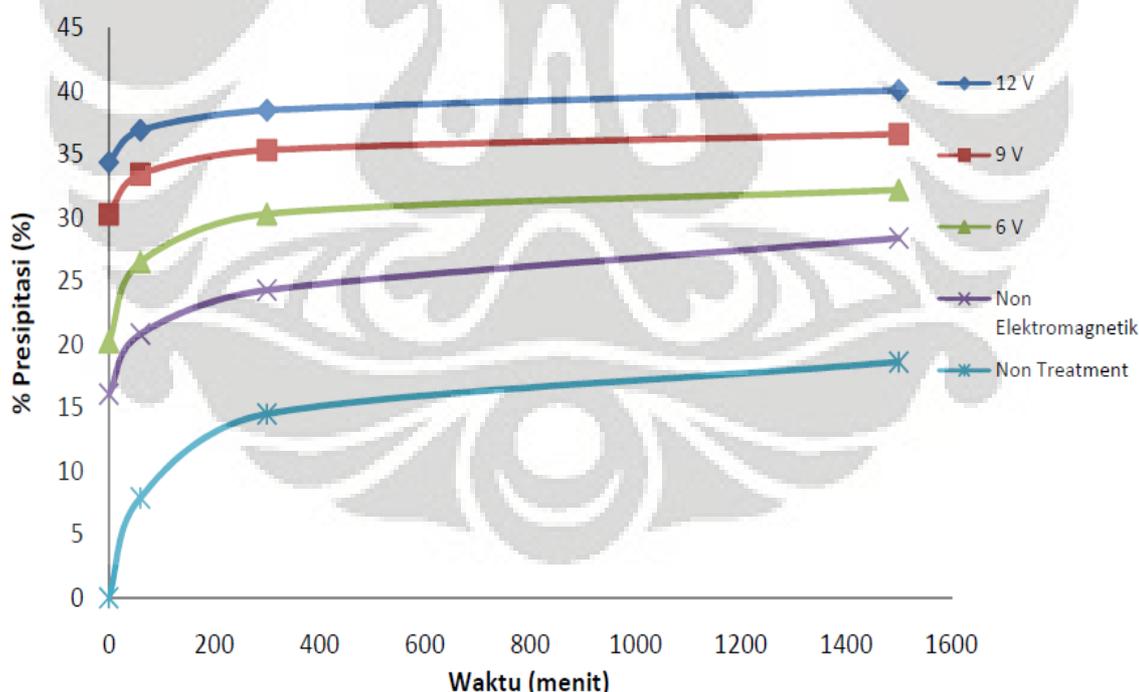
Efek yang berbeda terjadi pada frekuensi diatas 32000 Hz. Persen presipitasi cenderung menurun seiring dengan bertambahnya frekuensi yang diberikan. Hal ini merupakan suatu fenomena yang unik yang memerlukan

pengamatan yang lebih lanjut dari sisi yang lebih dalam. Diduga frekuensi yang lebih tinggi dari 32000 Hz akan memodifikasi kembali kluster air sehingga rintangan sterik yang terdapat diantara ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  akan semakin rapat sehingga dapat menghalangi proses presipitasi ion-ion tersebut menjadi partikel  $\text{CaCO}_3$ .

#### 4.1.2 Variasi Tegangan

Perbedaan tegangan yang diberikan pada peralatan *electromagnetic water treatment* akan menyebabkan perbedaan medan osilasi elektrik yang dihasilkan. Tegangan divariasikan dengan cara memperkecil besarnya tegangan yang dihasilkan oleh *power supply* sebesar 12 V, 9 V dan 6 V. Variasi dilakukan dengan cara membuat variabel yang lain tetap seperti lama sirkulasi (10 menit), laju sirkulasi, konsentrasi, frekuensi, jumlah lilitan, dan konfigurasi lilitan.

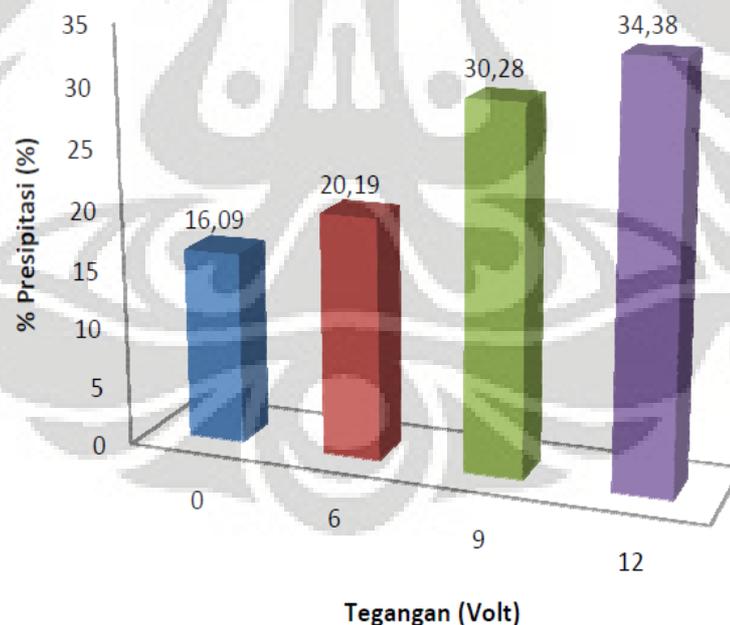
Gambar 4.3 menggambarkan grafik persen presipitasi  $\text{CaCO}_3$  untuk 0, 60, 300 dan 1500 menit setelah *treatment* dengan variasi tegangan tertentu serta sampel non-elektromagnetik dan non-*treatment* terhadap waktu presipitasi.



Gambar 4.3 Pengaruh Tegangan terhadap Presipitasi  $\text{CaCO}_3$  Total dengan Waktu Presipitasi 0 Sampai 1500 Menit dengan Kondisi Lama Sirkulasi 10 Menit, Laju Sirkulasi 19,02 ml/s, Konsentrasi Larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  Masing-Masing 0,02 M, Frekuensi 500 Hz, Jumlah Lilitan 150 Lilitan, dan Konfigurasi Lilitan Tanpa Segmen.

Terlihat dari Gambar 4.3 bahwa semakin besar tegangan maka akan semakin besar pula persen presipitasi. Pada setiap variasi tegangan yang dilakukan, masing-masing kurva menunjukkan kenaikan persen presipitasi seiring dengan bertambahnya waktu dan laju presipitasi yang cenderung menurun seiring dengan bertambahnya waktu terlihat dari kurva yang semakin melandai.. Kurva awal presipitasi akan meningkat dengan cepat untuk masing-masing tegangan yang diberikan (*non-treatment* : tidak terjadi presipitasi, non-elektromagnetisasi : mencapai 16,09%, tegangan 6 volt : mencapai 20,19%, tegangan 9 volt : 30,28%, tegangan 12 volt : mencapai 34,38%).

Terjadi tipe kurva yang mirip antara kurva hasil variasi tegangan dengan kurva hasil variasi frekuensi. Kenaikan presipitasi tertinggi terjadi pada saat pengujian tepat setelah proses *treatment* dihentikan. Gambar 4.4 menunjukkan grafik persen presipitasi untuk masing-masing tegangan setelah *treatment* dihentikan.



Gambar 4.4 Pengaruh Tegangan terhadap Presipitasi  $\text{CaCO}_3$  Total Sesaat Setelah Sirkulasi

Tegangan yang dihasilkan dari *power supply* akan menghasilkan medan listrik yang akan menghasilkan arus yang bergerak yang akan digunakan untuk menciptakan medan magnet sesuai dengan hukum Ohm  $V = I.R$  dimana I ialah

kuat arus, dan R ialah hambatan. Medan magnet ini dapat menciptakan suatu induksi medan elektrik seperti diuraikan oleh hukum Faraday  $\int E \cdot ds = -\frac{\partial}{\partial t} \int B \cdot dA$  dimana E adalah vektor induksi medan listrik, s adalah garis vektor sepanjang arah circumferential, B adalah vektor kuat medan magnet, dan A adalah luas area pipa. Semakin tinggi tegangan yang dihasilkan oleh *power supply* maka akan semakin tinggi pula arus dan induksi medan elektrik yang dihasilkan. Induksi medan elektrik ini terjadi di dalam pipa yang telah dililit dengan menggunakan kawat penghantar membentuk suatu pola solenoida. Induksi medan elektrik yang berosilasi menyediakan agitasi molekul yang cukup untuk merangsang ion mineral seperti kalsium dan ion bikarbonat agar bertumbukan dan berpresipitasi. Agitasi molekul yang disediakan akan semakin besar ketika induksi yang diberikan pada ion-ion semakin besar. Ketika agitasi molekul yang terjadi semakin besar maka proses presipitasi yang terjadi juga akan semakin besar. Setelah ion diagitasi, ion dikonversi menjadi kristal mineral yang tidak dapat larut. Kekeruhan pada sampel merupakan indikator telah berlangsungnya proses presipitasi. Kekeruhan yang terjadi disebabkan oleh partikel  $\text{CaCO}_3$  yang telah terbentuk sebagai akibat dari *treatment* yang dilakukan.

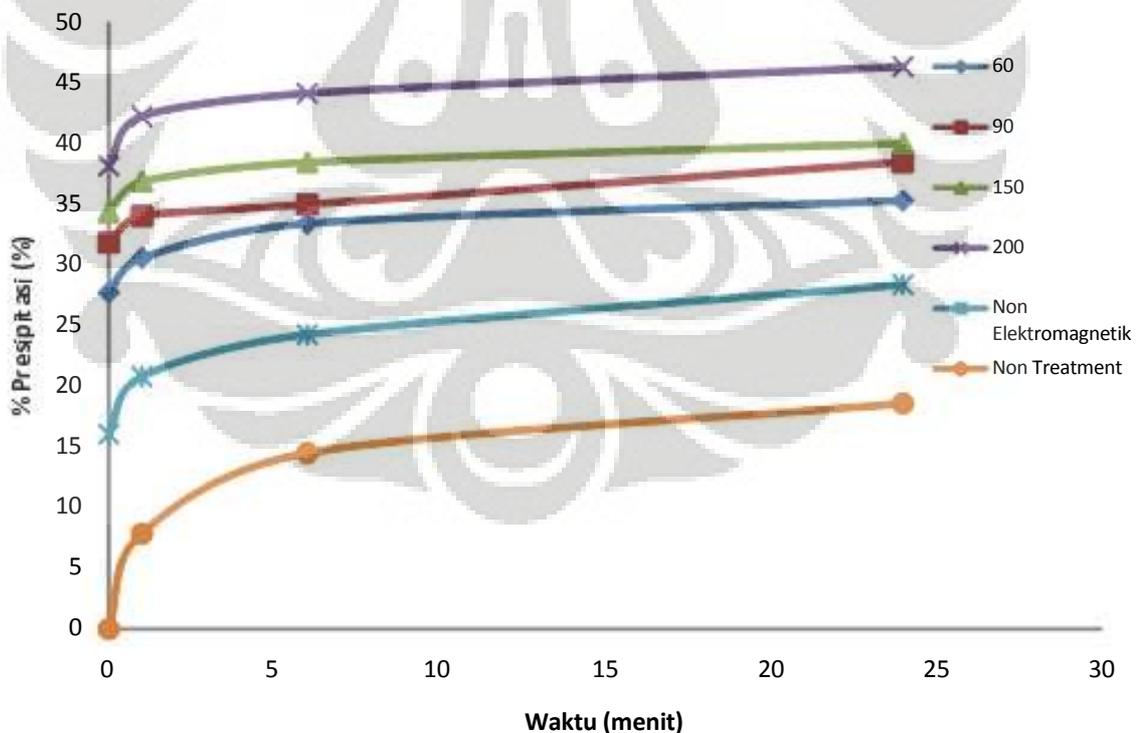
Medan osilasi elektrik yang diproduksi oleh peralatan *electromagnetic water treatment* merubah efektivitas dari tumbukan dan meningkatkan jumlah tumbukan yang mengakibatkan nukleasi. Semakin tinggi tegangan maka akan semakin tinggi pula medan osilasi yang dihasilkan. Hal ini akan mengakibatkan efektivitas dari tumbukan akan semakin tinggi dan jumlah tumbukan yang mengakibatkan nukleasi akan semakin besar. Hal ini dapat dibuktikan dengan meningkatnya persen presipitasi ketika tegangan dinaikkan seperti yang terlihat pada Gambar 4.4. Medan osilasi elektrik ini berorientasi untuk menyerang ion-ion (baik itu positif  $\text{Ca}^{2+}$  atau negatif  $\text{CO}_3^{2-}$ ). Seiring dengan meningkatnya energi kinetik dari tumbukan ion, medan osilasi elektrik juga dapat meningkatkan gaya tarik coulomb dari ion dengan terus meningkatkan momen dipol mereka. Jika standar momen dipol dari ion diganggu oleh peralatan *electromagnetic water treatment*, ion terlarut akan mempunyai suatu energi yang berbeda dengan inti.

Pergeseran dalam momen dipol ini mengakibatkan laju nukleasi menjadi meningkat.

#### 4.1.3 Variasi Jumlah Lilitan

Apabila sebuah arus listrik dialirkan pada sebuah kumparan, maka kumparan tersebut akan dilingkupi sejumlah garis gaya magnetik. Kumparan disini berfungsi sebagai sumber gaya yang akan digunakan untuk mempercepat proses presipitasi. Variasi jumlah lilitan yang digunakan yaitu 60 lilitan, 90 lilitan, 150 lilitan dan 200 lilitan. Variasi ini dilaksanakan dengan membuat tetap variabel-variabel lain seperti lama sirkulasi (10 menit), laju sirkulasi (19,02 ml/s), konsentrasi (0,02 M), frekuensi (500 Hz), tegangan (12 Volt), dan konfigurasi lilitan (tanpa segmen).

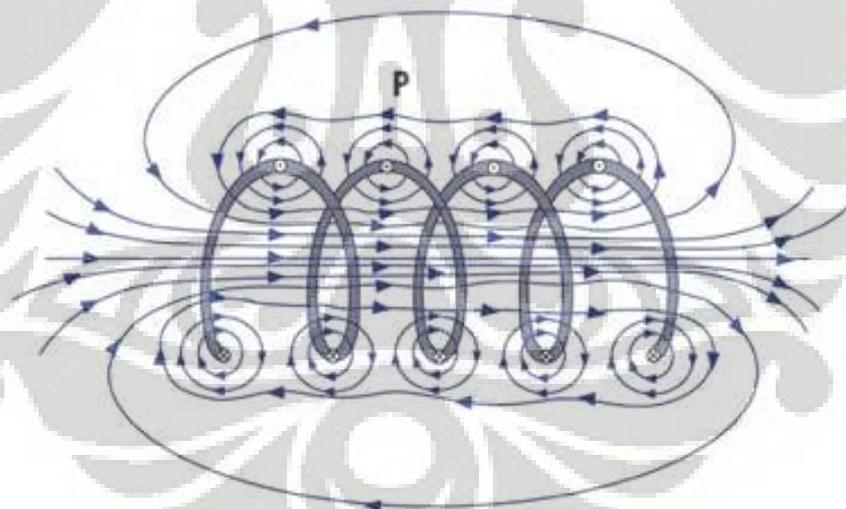
Gambar 4.5 menggambarkan grafik persen presipitasi  $\text{CaCO}_3$  untuk 0, 60, 300 dan 1500 menit setelah *treatment* dengan variasi jumlah lilitan tertentu serta sampel non-elektromagnetik dan non-*treatment* terhadap waktu presipitasi.



Gambar 4.5 Pengaruh Jumlah Lilitan terhadap Presipitasi  $\text{CaCO}_3$  Total dengan Kondisi Lama Sirkulasi 10 Menit, Laju Sirkulasi 19,02 ml/s, Konsentrasi Larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  Masing-Masing 0,02 M, Frekuensi 500 Hz, Tegangan 12 Volt, dan Konfigurasi Lilitan Tanpa Segmen.

Terlihat pada Gambar 4.5 bahwa seiring dengan berjalannya waktu maka persen presipitasi pada masing-masing kurva terlihat semakin naik dengan laju presipitasi yang terus menurun seiring dengan berjalannya waktu seperti yang terlihat pada persen presipitasi sampel dengan variasi 150 lilitan yaitu setelah sirkulasi sebesar 34,38%, 60 menit setelah sirkulasi sebesar 36,91%, 300 menit setelah sirkulasi sebesar 38,49%, dan 1500 menit setelah sirkulasi sebesar 40,06%.

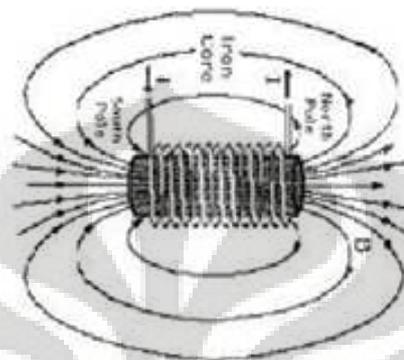
Pada Gambar 4.5 terlihat perbedaan yang jelas baik itu pada kurva *non-treatment*, non-elektromagnetik maupun kurva sampel dengan *treatment* yang diberi medan elektromagnetik dengan variasi ini. Semakin besar jumlah lilitan yang digunakan maka akan semakin besar induksi medan elektromagnetik pada suatu kumparan. Semakin besar induksi medan elektromagnetik yang diberikan pada suatu selenoida maka efeknya akan berakibat pada peningkatan keefektifan tumbukan antara ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  sehingga akan meningkatkan proses presipitasi  $\text{CaCO}_3$ .



Gambar 4.6 Fluks Medan Magnetik Setiap Lilitan pada Suatu Solenoida  
([www.ndt-ed.org](http://www.ndt-ed.org), 2009)

Gambar 4.6 menunjukkan sebuah kumparan yang apabila padanya dialirkan sejumlah arus tertentu maka setiap lilitan penyusunnya akan mempunyai fluks-fluks medan magnet yang melingkari setiap lilitan tersebut. Fluks-fluks medan magnet ini merupakan sumber medan magnetik yang akan menghasilkan medan osilasi elektrik pada bahan yang dilingkari oleh kumparan tersebut. Semakin banyak jumlah lilitan maka akan semakin besar fluks medan magnetik yang

dihasilkan sehingga nilai induksi medan magnet dan induksi medan osilasi elektrik akan semakin besar. Ketika kumparan selenoida tersebut dibuat rapat maka keadaan gaya-gaya fluks akan menunjukkan struktur yang berbeda seperti gambar 4.7 dibawah ini

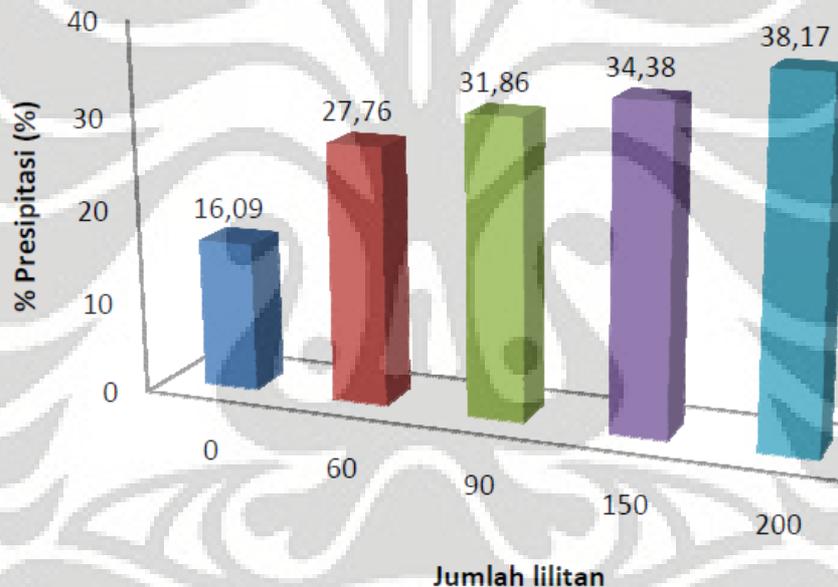


Gambar 4.7 Fluks Medan Magnetik pada Suatu Selenoida  
([www.hyperphysics.phy-astr.gsu.edu](http://www.hyperphysics.phy-astr.gsu.edu), 2008)

Semakin besar jumlah lilitan maka gaya-gaya magnetik akan semakin rapat terutama pada bagian dalam pipa yang terlilit oleh selenoida tersebut dan efek medan yang dihasilkan akan semakin besar. Terlihat pada Gambar 4.7, medan magnetik akan masuk dan keluar melalui ujung-ujung selenoida. Medan magnetik akan semakin terfokus masuk dan merapat pada satu penampang masuk solenoida sehingga daerah di dalam solenoida ini akan mendapatkan porsi medan magnetik terbesar dibandingkan dengan daerah disekitarnya. Hal ini tergambarkan dengan semakin merapatnya garis gaya magnetik ke bagian tengah pipa. Ketika ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan ion  $\text{CO}_3^{2-}$  masuk ke dalam selenoida maka ion akan didesak untuk saling berdekatan dan berpresipitasi. Hal ini didukung oleh tipe gaya-gaya magnetik yang dihasilkan oleh selenoida. Berdasarkan aturan tangan kanan gaya Lorentz yang dihasilkan oleh medan elektromagnetik yang bergerak akan selalu mengarah ke bagian pusat selenoida. Gaya ini akan mendorong ion-ion tersebut ke arah tengah pada bagian selenoida disegala sisi sehingga jarak antara ion-ion tersebut akan semakin dekat dan kemudian presipitasi dapat terjadi. 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. Hal ini dibantu oleh penggunaan frekuensi pada peralatan *elektromagnetic water treatment*. Frekuensi dapat menghancurkan rintangan sterik berupa molekul-molekul air yang berada mengelilingi ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  sehingga presipitasi lebih mudah terjadi setelah jarak ion-ion tersebut didekatkan oleh medan elektromagnetik.

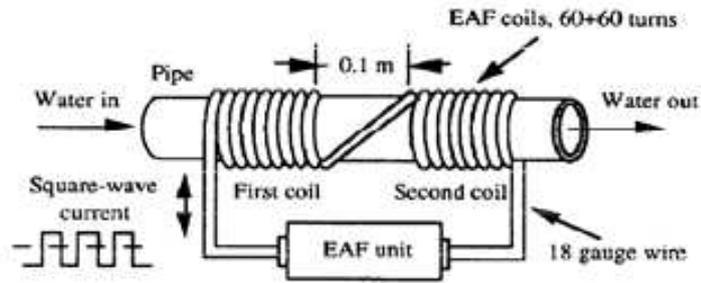
Selain itu, jumlah lilitan yang semakin banyak akan menghasilkan medan terpapar yang semakin luas. Sehingga menambah waktu kontak antara ion-ion dengan medan elektromagnetik sehingga akan menambah efektif proses *treatment* yang dilakukan. Gambar 4.8 menunjukkan bahwa semakin besar jumlah lilitan maka akan semakin besar pula persen presipitasi yang terjadi.



Gambar 4.8 Pengaruh Jumlah Lilitan terhadap Presipitasi  $\text{CaCO}_3$  Total Sesaat Setelah Sirkulasi

#### 4.1.4 Variasi Konfigurasi Lilitan

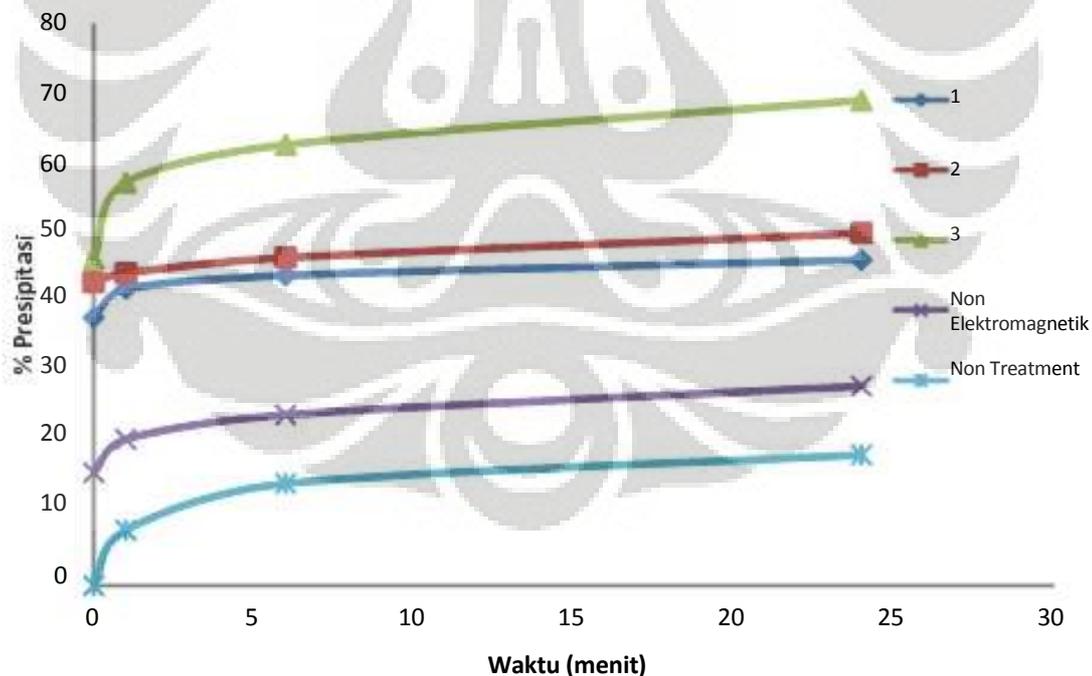
Variasi konfigurasi lilitan disini dilakukan dengan cara memodifikasi struktur lilitan sehingga diharapkan sistem akan semakin optimal dan menghasilkan jumlah persen presipitasi yang lebih besar. Jenis konfigurasi lilitan yang dipilih ialah dengan cara membuat segmen-segmen pada selenoida seperti Gambar 4.9 dibawah ini



Gambar 4.9 Model Penampang Konfigurasi Lilitan  
(Cho et al., 1997)

Untuk memvariasikan konfigurasi lilitan ini dibuat 3 jenis kumparan yang masing masing mempunyai jumlah lilitan yang sama yaitu 200 lilitan. Kumparan yang pertama dibuat tanpa segmen (1), kumparan kedua dibuat dengan satu segmen (2) dengan masing-masing segmen terdiri atas 100 lilitan dan kumparan yang ketiga dibuat dengan 2 segmen (3) yang masing masing terdiri dari 66 lilitan, 67 lilitan dan 67 lilitan.

Gambar 4.10 menggambarkan grafik persen presipitasi  $\text{CaCO}_3$  untuk 0, 60, 300 dan 1500 menit setelah *treatment* dengan variasi konfigurasi lilitan serta sampel non-elektromagnetik dan non-*treatment* terhadap waktu presipitasi.

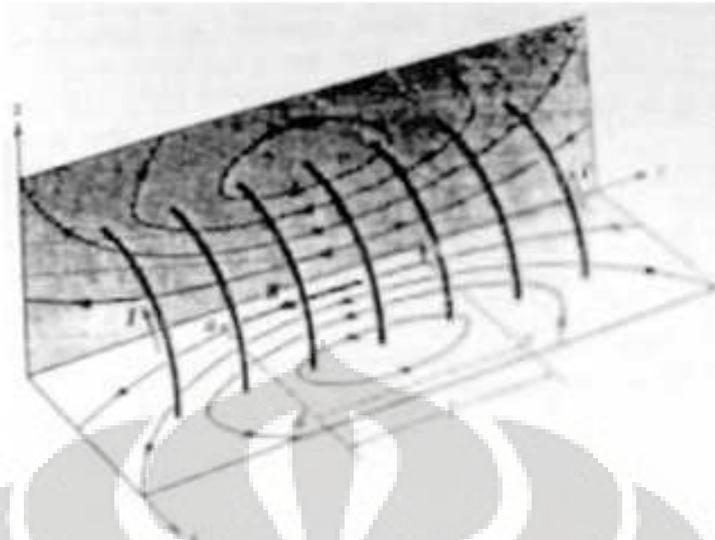


Gambar 4.10 Pengaruh Konfigurasi Lilitan terhadap Presipitasi  $\text{CaCO}_3$  Total dengan Kondisi Lama Sirkulasi 10 Menit, Laju Sirkulasi 19,02 ml/s, Konsentrasi Larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  Masing-Masing 0,02 M, Frekuensi 500 Hz, dan Tegangan 12 volt.

Terlihat pada Gambar 4.10 bahwa untuk masing-masing kurva, persen presipitasi meningkat seiring dengan berjalannya waktu dengan laju presipitasi yang cenderung menurun seiring dengan bertambahnya waktu. Pada kumparan tanpa segmen persen presipitasi setelah sirkulasi sebesar 38,17%, 60 menit setelah sirkulasi sebesar 42,27%, 300 menit setelah sirkulasi sebesar 44,16%, dan 1500 jam setelah sirkulasi sebesar 46,37%. Hal ini juga terjadi pada kumparan dengan satu segmen dan kumparan dengan dua segmen.

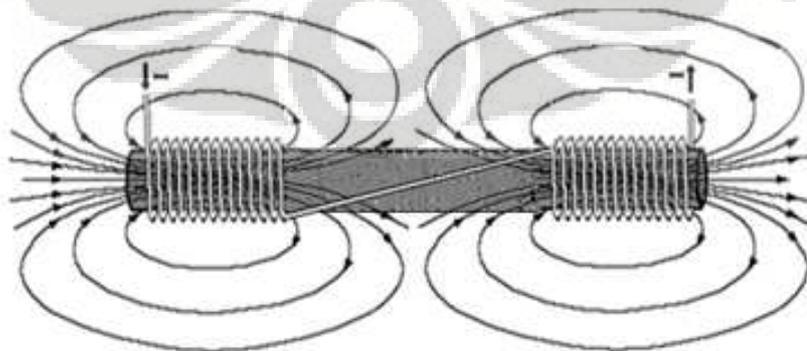
Fenomena presipitasi tercepat berlangsung pada pengamatan setelah sirkulasi dilakukan. Perbedaan yang terlihat ialah peningkatan yang sangat tajam dari titik nol presipitasi pada menit-menit awal presipitasi yang terjadi disetiap sampel (non-elektromagnetik : 16,08%, kumparan tanpa segmen : 38,17%, kumparan dengan 1 segmen : 49,84%, dan kumparan dengan 2 segmen : 49,84%). Hal ini menandakan keefektifan *treatment* yang dilakukan. Semakin banyak segmen yang dibuat maka akan semakin besar pula persen presipitasinya. Dari seluruh variasi yang diuji dapat diambil kesimpulan bahwa laju presipitasi  $\text{CaCO}_3$  untuk model larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  akan mengalami penurunan seiring dengan berjalannya waktu. Peningkatan laju presipitasi yang tertinggi berada pada titik uji setelah sirkulasi dihentikan. Adanya gaya dan energi yang diberikan oleh peralatan *electromagnetic water treatment* akan memicu laju presipitasi hingga titik-titik tertentu sesuai dengan intensitas tertentu. Kondisi sistem akan semakin efektif jika variabel-variabel yang terdapat didalamnya dapat dikondisikan sesuai dengan titik tertentu sehingga dapat menghasilkan laju presipitasi yang tinggi.

Peninjauan pengaruh konfigurasi lilitan dengan segmen dilakukan dengan cara melihat pada sisi gaya yang dibentuk oleh suatu sistem kumparan. Gaya yang dihasilkan oleh kumparan yang bersegmen sedikit berbeda dengan gaya yang dihasilkan oleh kumparan tanpa segmen. Pada kondisi ketika terdapat sedikit celah pada kumparan suatu selenoida maka akan terjadi kebocoran gaya seperti yang terlihat pada Gambar 4.11 dibawah ini.



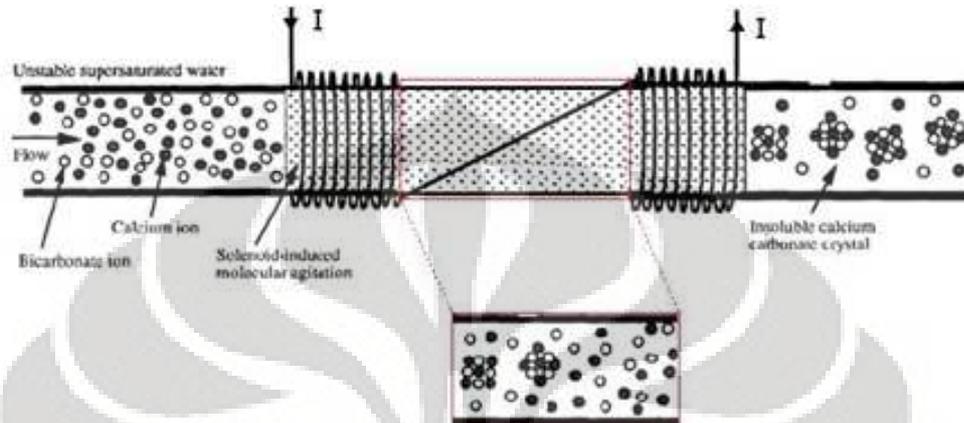
Gambar 4.11 Konfigurasi Lilitan  
(Zemansky, 1994)

Ketika suatu kumparan dibuat bersegmen yang masing-masing terhubung satu dengan yang lainnya maka akan terjadi fenomena gaya yang serupa seperti pada Gambar 4.11 yaitu terdapat suatu kebocoran gaya magnetik sehingga membentuk suatu pola gaya yang baru. Pola kumparan ini diatur sedemikian rupa sehingga kebocoran gaya terlokalisir pada satu titik dengan cara membuat segmen sebesar 2 cm ditengah suatu kumparan dengan lilitan yang rapat. Gambar 4.12 menunjukkan gambar gaya-gaya magnetik yang terjadi pada kumparan dengan satu segmen. Pada kumparan ini terjadi dua buah pola gaya magnet yang mengakibatkan terjadinya suatu fenomena dimana terdapat suatu denyutan/hentakan gaya yang terjadi diantara ruang kosong yang terdapat diantara dua buah lilitan seperti yang terlihat pada Gambar 4.12.



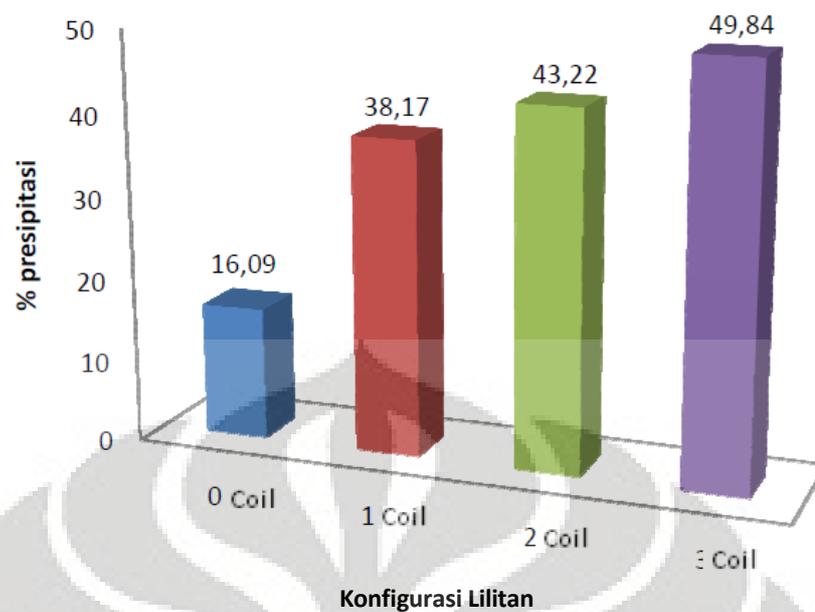
Gambar 4.12 Garis-Garis Gaya pada Kumparan dengan Satu Segmen

Denyutan tersebut dapat menyebabkan gangguan yang lebih besar pada ion yang menyebabkan ion terdesak lebih dekat pada ion lain sehingga presipitasi lebih mudah terjadi dan akan menghasilkan jumlah presipitan yang lebih banyak seperti Gambar 4.13 dibawah ini.



Gambar 4.13 Interaksi Molekul Setelah Melewati Kumbaran

Disamping itu ruang kosong yang terdapat pada kumbaran dapat menyebabkan adanya gradien medan magnet seperti yang telah dijelaskan pada tinjauan teori pada persamaan 2.30 dimana gradien merupakan faktor pengali yang dapat menambah besarnya gaya tarik suatu magnet. Semakin besar gradien medan magnet maka akan semakin besar gaya tarik magnetik yang dihasilkan dan akan semakin besar pula persen presipitasinya. Hal ini dibuktikan dengan naiknya persen presipitasi  $\text{CaCO}_3$  seiring dengan bertambahnya segmen yang dibuat dengan jumlah lilitan yang sama. Persen presipitasi pada non-elektromagnetik sebesar 16,08%, kumbaran tanpa segmen sebesar 38,17%, kumbaran dengan satu segmen sebesar 49,84%, dan kumbaran dengan dua segmen sebesar 49,84% pada kondisi setelah *treatment* dihentikan seperti ditunjukkan oleh gambar 4.13 dibawah ini.



Gambar 4.14 Pengaruh Konfigurasi Lilitan terhadap Presipitasi  $\text{CaCO}_3$  Total Sesaat Setelah Sirkulasi

Titik nol menyatakan non-elektromagnetik, titik 1 menyatakan 1 buah lilitan yang berarti tanpa segmen, titik 2 menyatakan 2 buah lilitan yang berarti 1 segmen dan titik 3 menyatakan 3 buah lilitan yang berarti 2 segmen.

#### 4.2 Morfologi dan Populasi Partikel $\text{CaCO}_3$ dari Hasil SEM

Uji morfologi dengan menggunakan SEM dilakukan untuk mengamati jenis kristal yang terbentuk dan besar populasi kristal yang mendominasi populasi tersebut untuk beberapa sampel air sadah yang telah dilakukan proses *treatment* padanya. Disini dilakukan pemilihan sampel yang dapat mewakili masing-masing variasi. Ada 4 jenis variasi yang dilakukan yaitu variasi frekuensi (500 Hz dan 8000 Hz), variasi tegangan (6 V dan 12 V), variasi jumlah lilitan (150 dan 200 lilitan), dan variasi konfigurasi lilitan (tanpa segmen dan 2 segmen). Uji ini dilakukan di Laboratorium Metalografi-Departemen Teknik Metalurgi FTUI dengan mikroskop optik Olympus dan kamera BHM

Proses pengambilan sampel dilakukan dengan cara menempatkan sebuah kaca preparat pada larutan air sadah yang dibuat dari larutan  $\text{NaHCO}_3$  0,02 M dengan larutan  $\text{CaCl}_2$  0,02 M yang kepadanya telah dilakukan beberapa proses *treatment* dengan beberapa variasi tertentu. . Larutan hasil sampel diletakan ke

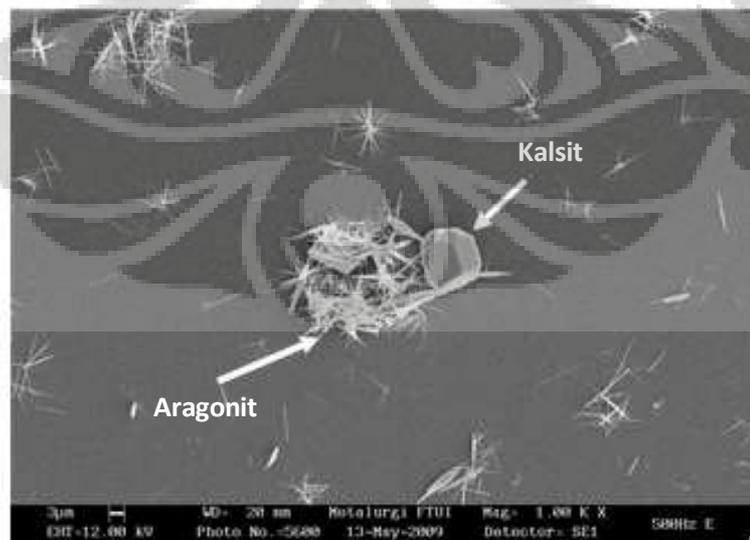
dalam erlenmeyer 100 ml. Proses pengendapan dilakukan selama 24 jam untuk masing-masing sampel dengan keadaan tertutup rapat. Hal ini dilakukan untuk mencegah masuknya partikel lain ke dalam sampel yang dapat mengganggu proses presipitasi  $\text{CaCO}_3$ . Proses pengeringan sampel dilakukan dengan menggunakan desikator selama 24 jam.

Pada percobaan ini terbentuk 3 tipe *scale* yang terbentuk yaitu kalsit, aragonit, dan vaterit. Kalsit diasosiasikan sebagai *hard scale* yaitu jenis kerak yang sulit dihilangkan pada permukaan sedangkan vaterit dan aragonit diasosiasikan sebagai *soft scale* dimana jenis ini mudah dihilangkan. Kalsit adalah fase kristal yang paling stabil dan terbentuk pada tekanan atmosferik. Dua struktur yang lain yaitu aragonit dan vaterit terbentuk dalam fase yang metastabil.

#### 4.2.1 Variasi Frekuensi

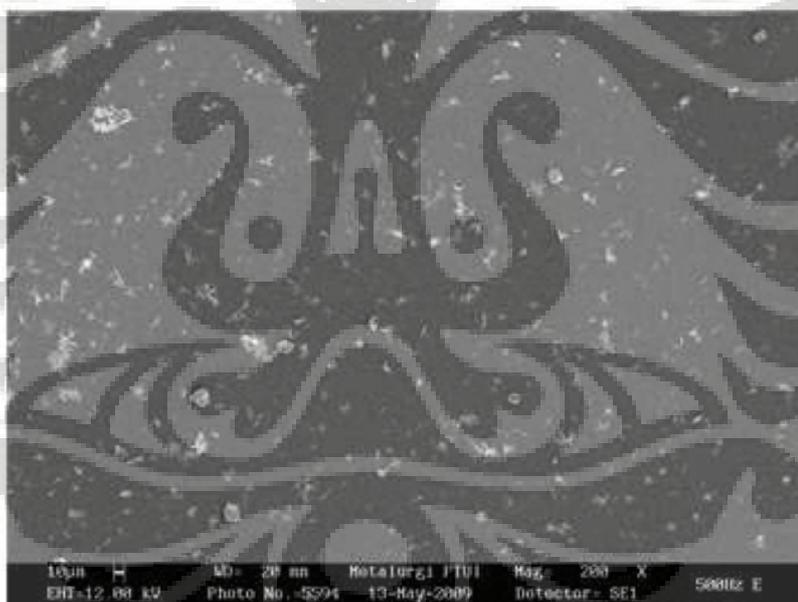
Variasi frekuensi dilakukan untuk melihat morfologi  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk pada frekuensi tinggi dan pada frekuensi rendah. Frekuensi tinggi yang dipilih ialah 8000 Hz dan frekuensi rendah yang dipilih ialah 500 Hz. Frekuensi ini dianggap telah mewakili frekuensi-frekuensi yang lainnya untuk jenis variasi frekuensi yang dilakukan.

Gambar 4.15 menunjukkan hasil SEM untuk frekuensi 500 Hz pada perbesaran sebesar 1000 kali.



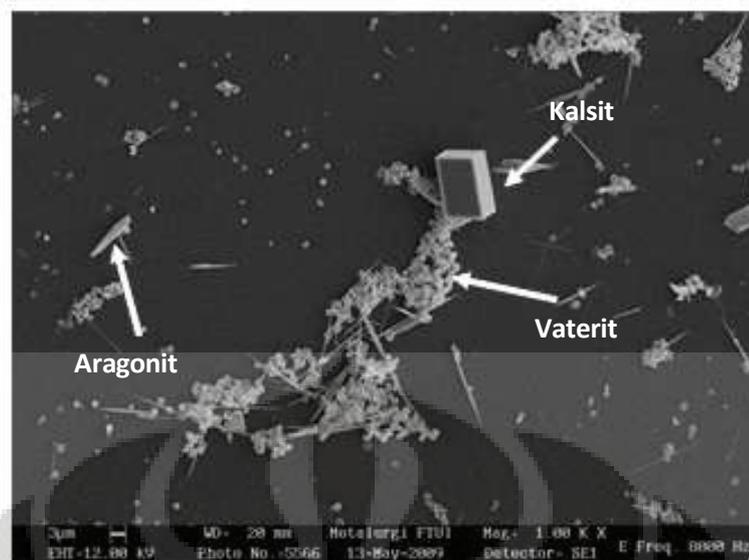
Gambar 4.15 Hasil SEM untuk Frekuensi 500 Hz pada Perbesaran Sebesar 1000 Kali pada Kondisi Tegangan 12 Volt, 150 Lilitan, Konfigurasi Lilitan Dibuat Tanpa Segmen (1 *Coil*), Lama Sirkulasi 10 Menit, Laju Sirkulasi 19,02 ml/s dan Konsentrasi Larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  Masing-Masing 0,02 M.

Pada frekuensi 500 Hz hanya terbentuk 2 jenis *scale* yaitu kalsit dan aragonit. Terlihat dari Gambar 4.9 bahwa pembentukan aragonit terlihat lebih dominan daripada kalsit. Aragonit merupakan *scale* yang membutuhkan energi yang lebih banyak dalam proses pembentukannya. *Ground state* Aragonit lebih tinggi 28 eV dibanding kalsit (Ben Amor, 2004). Untuk itu ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  memerlukan energi yang lebih besar untuk dapat membentuk Aragonit. Hal ini menunjukkan bahwa proses pemberian medan elektromagnetik dengan frekuensi rendah pada larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  dengan menggunakan sistem dinamik dapat memberikan energi yang cukup untuk pembentukan aragonit. Selain itu juga disini terbentuk sejumlah kalsit dengan jumlah yang tidak begitu signifikan. Hal ini terlihat ketika kita memperbesar range jangkauan pandang kita ke area yang lebih luas. Gambar 4.16 menunjukkan hasil SEM untuk frekuensi 500 Hz dengan perbesaran sebesar 200 kali.



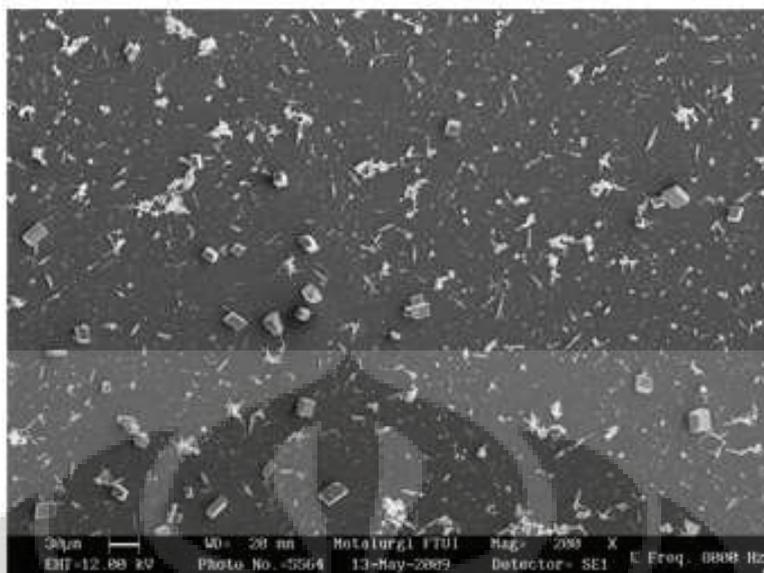
Gambar 4.16 Hasil SEM Untuk Frekuensi 500 Hz pada Perbesaran Sebesar 200 Kali dengan Kondisi Tegangan 12 Volt, 150 Lilitan, Konfigurasi Lilitan Dibuat Tanpa Segmen (1 *coil*), Lama Sirkulasi 10 Menit, Laju Sirkulasi 19,02 ml/s dan Konsentrasi Larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  Masing-Masing 0,02 M.

Gambar 4.17 menunjukkan hasil SEM untuk frekuensi 8000 Hz pada perbesaran sebesar 1000 kali.



Gambar 4.17 Hasil SEM untuk Frekuensi 8000 Hz pada Perbesaran Sebesar 1000 Kali dengan Kondisi Tegangan 12 Volt, 150 Lilitan, Konfigurasi Lilitan Dibuat Tanpa Segmen (1 *Coil*), Lama Sirkulasi 10 Menit, Laju Sirkulasi 19,02 ml/s dan Konsentrasi Larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  Masing-Masing 0,02 M.

Berbeda dengan frekuensi 500 Hz, pada frekuensi 8000 Hz terbentuk 3 jenis *scale* yaitu kalsit, aragonit dan vaterit. Vaterit merupakan partikel kecil  $\text{CaCO}_3$  yang menyerupai bola. Jenis kristal ini tidak dijumpai pada frekuensi 500 Hz. Disini dapat disimpulkan bahwa besarnya frekuensi akan menyebabkan perubahan kecenderungan suatu partikel untuk membentuk tipe kristalnya. Semakin tinggi frekuensi (dibawah 32000 Hz) maka kecenderungan suatu partikel untuk membentuk partikel yang lebih kecil akan semakin besar. Frekuensi tinggi ini (dibawah 32000 Hz) akan menyusun struktur air sehingga menyebabkan menurunnya hidrasi ion kalsium dan karbonat. Oleh karena itu proses dehidrasi akan lebih mudah tercapai dan ini terjadi lebih cepat selama tahap nukleasi. Hasilnya adalah kristal yang terpresipitasi lebih kecil dan berada dalam jumlah yang banyak. Terlihat bahwa pada frekuensi 8000 Hz, struktur kristal lebih didominasi oleh kristal vaterit. Sementara itu jumlah kristal aragonit akan cenderung menurun dan jumlah kalsit akan cenderung lebih banyak daripada kristal pada frekuensi 500 Hz. Hal ini terlihat ketika kita memperbesar range jangkauan pandang kita ke area yang lebih luas. Gambar 4.18 menunjukkan hasil SEM untuk frekuensi 8000 Hz dengan perbesaran sebesar 200 kali.



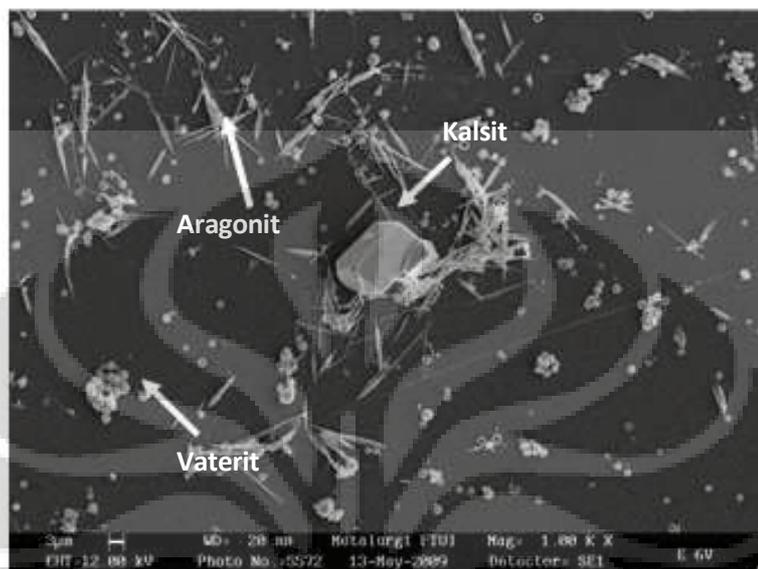
Gambar 4.18 Hasil SEM untuk Frekuensi 8000 Hz pada Perbesaran Sebesar 200 Kali dengan Kondisi Tegangan 12 Volt, 150 Lilitan, Konfigurasi Lilitan Dibuat Tanpa Segmen (1 *Coil*), Lama Sirkulasi 10 Menit, Laju Sirkulasi 19,02 ml/s dan Konsentrasi Larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  Masing-Masing 0,02 M.

Kristal vaterit merupakan kristal bersifat meta-stabil cenderung akan bertransformasi lebih lanjut menjadi kalsit. Diduga banyaknya kalsit pada frekuensi 8000 Hz disebabkan oleh proses transformasi yang terjadi pada kristal vaterit. Diduga pada frekuensi yang lebih tinggi hingga 32000 Hz akan terbentuk partikel-partikel yang lebih besar yang lebih didominasi oleh kalsit sebagai hasil transformasi dari vaterit. Perkiraan ini didapat dari analogi antara hasil penelitian yang didapat pada frekuensi 500 Hz dan 8000 Hz dengan penelitian yang lain yang dilakukan oleh colic dan morse pada tahun 1997 yang menyatakan bahwa frekuensi dapat memodifikasi struktur air sehingga akan mempengaruhi besarnya inti partikel yang terbentuk sehingga dapat mempengaruhi ukuran kristal  $\text{CaCO}_3$  yang dihasilkan.

#### 4.2.2 Variasi Tegangan

Variasi tegangan dilakukan untuk melihat morfologi  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk pada tegangan tinggi dan pada tegangan rendah. Tegangan tinggi yang dipilih ialah 12 V dan tegangan rendah yang dipilih ialah 6 V. Tegangan-tegangan ini dianggap telah mewakili tegangan-tegangan yang lainnya untuk jenis variasi tegangan yang dilakukan.

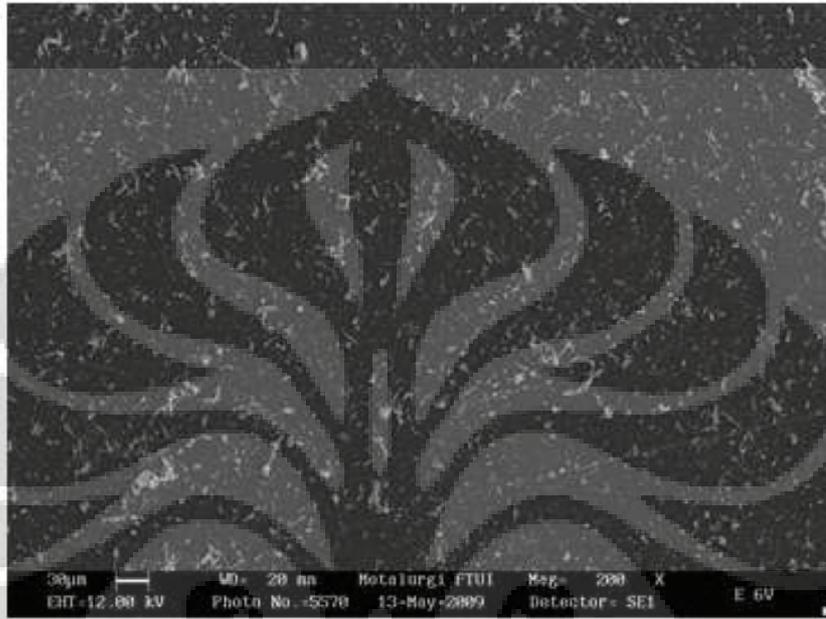
Gambar 4.19 menunjukkan hasil pengamatan SEM pada tegangan sebesar 6 V. Sebagai perbandingan, digunakan Gambar 4.15 dan Gambar 4.16 sebagai hasil yang diperoleh pada tegangan 12 V.



Gambar 4.19 Hasil SEM untuk Tegangan 6 Volt pada Perbesaran Sebesar 1000 Kali dengan Kondisi Lama Sirkulasi 10 Menit, Laju Sirkulasi 19,02 ml/s, Konsentrasi Larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  Masing-Masing 0,02 M, Frekuensi 500 Hz, Jumlah Lilitan 150 Lilitan, Konfigurasi Lilitan Tanpa Segmen

Berbeda dengan hasil yang terlihat pada tegangan 12 V, pada tegangan 6 V dihasilkan 3 jenis kristal yaitu kalsit, vaterit dan aragonit. Sementara itu pada tegangan 12 V hanya dihasilkan 2 jenis kristal yaitu kalsit dan aragonit. Dan tampak bahwa vaterit terlihat lebih mendominasi daripada aragonit. Sebagaimana telah diuraikan bahwa untuk membentuk suatu kristal aragonit diperlukan energi yang lebih besar daripada vaterit. Disisi lain energi yang dapat dibangkitkan oleh tegangan 12 V akan lebih besar daripada energi yang dibangkitkan oleh tegangan 6 V. Dari uraian diatas maka dapat disimpulkan bahwa dominasi vaterit ini lebih disebabkan oleh faktor besarnya energi yang dibangkitkan oleh masing-masing tegangan. Energi yang dibangkitkan oleh tegangan 12 V mampu mengarahkan pembentukan kristal  $\text{CaCO}_3$  kearah kristal aragonit sehingga dominasi kristal yang dihasilkan dimiliki oleh aragonit. Hal ini terlihat pada Gambar 4.15 dan 4.16 bahkan keberadaan vaterit hampir tidak terdeteksi pada gambar ini. Sementara pada tegangan 6 V, energi yang dibangkitkan tidak mampu mengarahkan semua proses pembentukan kristal kearah aragonit. Hanya sedikit aragonit yang

terbentuk. Dan hasilnya ialah vaterit lebih mendominasi proses yang terjadi. Hal ini terlihat ketika kita memperbesar *range* jangkauan pandang kita ke area yang lebih luas. Gambar 4.20 menunjukkan hasil SEM untuk tegangan 6 V dengan perbesaran sebesar 200 kali.

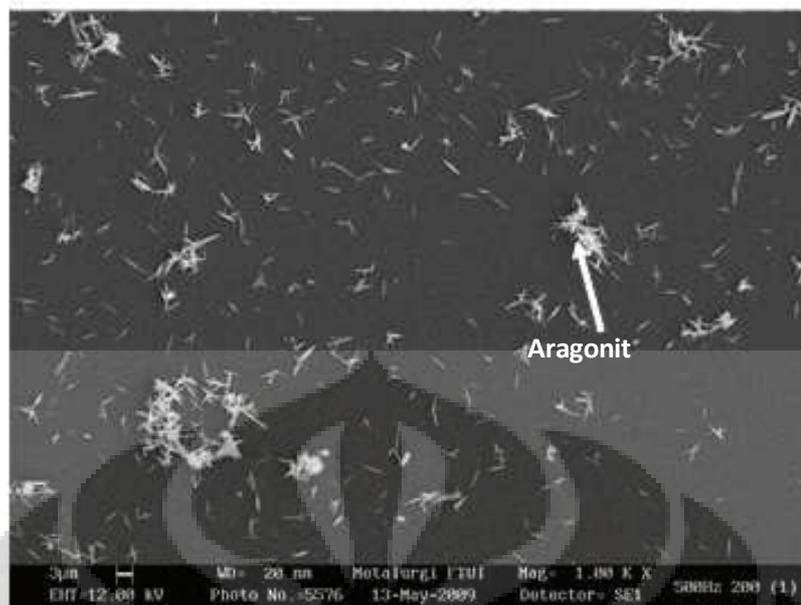


Gambar 4.20 Hasil SEM untuk Tegangan 6 V pada Perbesaran Sebesar 200 Kali dengan Kondisi Lama Sirkulasi 10 Menit, Laju Sirkulasi 19,02 ml/s, Konsentrasi Larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  Masing-Masing 0,02 M, Frekuensi 500 Hz, Jumlah Lilitan 150 Lilitan, Konfigurasi Lilitan Tanpa Segmen

### 4.2.3 Variasi Jumlah Lilitan

Variasi jumlah lilitan dilakukan untuk melihat morfologi  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk pada jumlah lilitan sedikit dan jumlah lilitan banyak. Jumlah lilitan banyak yang digunakan disini ialah 200 lilitan dan jumlah lilitan sedikit yang digunakan adalah 150 lilitan. Jumlah lilitan ini dianggap telah mewakili jumlah lilitan yang lainnya untuk jenis variasi jumlah lilitan yang dilakukan.

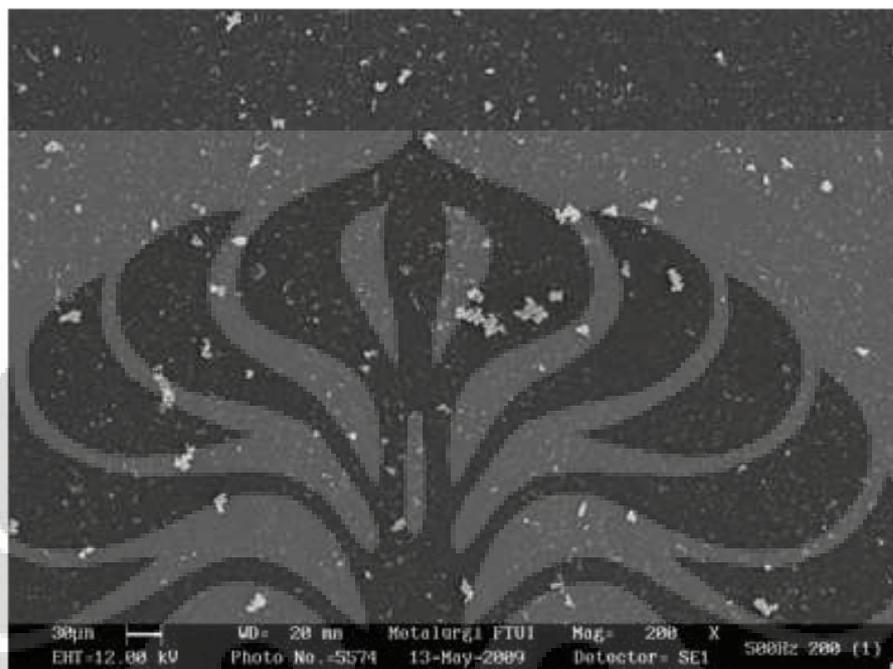
Gambar 4.21 menunjukkan hasil pengamatan SEM pada 200 lilitan. Sebagai perbandingan, digunakan Gambar 4.15 dan Gambar 4.16 sebagai hasil yang diperoleh pada 150 lilitan.



Gambar 4.21 Hasil SEM untuk 200 Lilitan pada Perbesaran Sebesar 1000 Kali dengan Kondisi Lama Sirkulasi 10 Menit, Laju Sirkulasi 19,02 ml/s, Konsentrasi Larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  Masing-Masing 0,02 M, Frekuensi 500 Hz, Tegangan 12 Volt, dan Konfigurasi Lilitan Tanpa Segmen.

Perubahan jumlah lilitan akan mengakibatkan perubahan kuat medan magnet pada suatu selenoida. Besarnya kuat medan magnet berbanding lurus dengan besarnya jumlah lilitan yang digunakan. Semakin besar jumlah lilitan maka akan semakin besar pula kuat medan magnet yang dihasilkan. Hal ini akan berakibat pada perubahan kecenderungan suatu partikel untuk membentuk kristalnya masing-masing. Aragonit adalah tipe kristal yang pembentukannya membutuhkan energi yang paling besar. Terlihat adanya perbedaan hasil SEM yang dihasilkan pada 150 lilitan dan 200 lilitan. Pada Gambar 4.15 terlihat bahwa masih ada sedikit kalsit pada preparat yang diuji walaupun disana populasi kristal lebih didominasi oleh aragonit. Berbeda dengan hasil yang didapat pada 150 lilitan, pada 200 lilitan kristal yang dibentuk ialah 100% aragonit. Dari uraian ini terbukti pengaruh besarnya energi yang diberikan pada air sadah terhadap jenis kristal  $\text{CaCO}_3$  yang dihasilkan. Semakin besar jumlah lilitan yang digunakan maka semakin besar pula kuat medan magnet dan energi yang dihasilkan sehingga jenis partikel yang dibentuk akan sesuai dengan energi yang diberikan oleh peralatan. Dari hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa energi yang dihasilkan oleh peralatan *electromagnetic water treatment* dengan 200 lilitan, 12 Volt, 500 Hz cukup untuk mengarahkan bentuk kristal  $\text{CaCO}_3$  pada bentuk

aragonit. Hal ini terlihat ketika kita memperbesar *range* jangkauan pandang kita ke area yang lebih luas. Gambar 4.22 menunjukkan hasil SEM untuk 200 lilitan dengan perbesaran sebesar 200 kali.

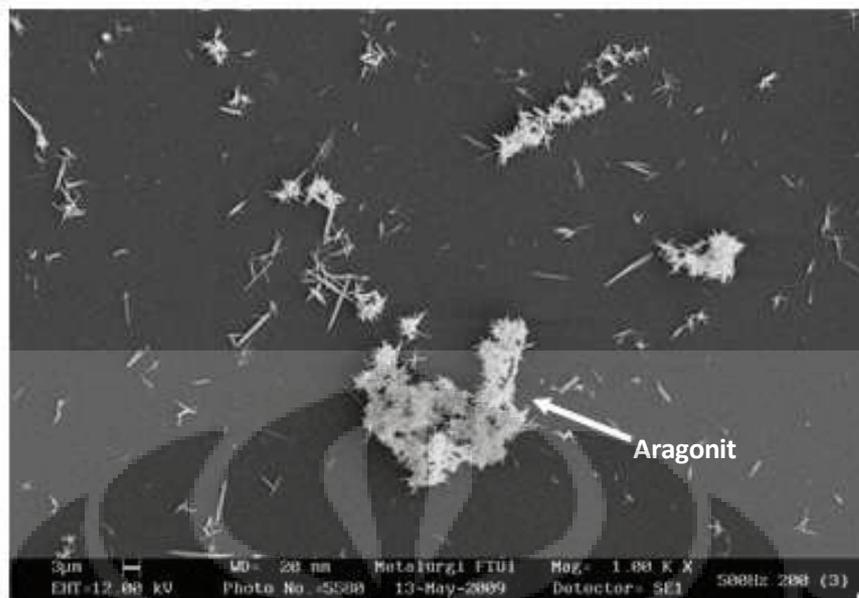


Gambar 4.22 Hasil SEM untuk 200 Lilitan pada Perbesaran Sebesar 200 Kali dengan Kondisi Lama Sirkulasi 10 Menit, Laju Sirkulasi 19,02 ml/s, Konsentrasi Larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  Masing-Masing 0,02 M, Frekuensi 500 Hz, Tegangan 12 Volt, dan Konfigurasi Lilitan Tanpa Segmen.

#### 4.2.4 Variasi Konfigurasi Lilitan

Variasi konfigurasi lilitan dilakukan untuk melihat morfologi  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk pada konfigurasi lilitan bersegmen sedikit dan konfigurasi lilitan bersegmen banyak. Konfigurasi lilitan bersegmen banyak yang digunakan disini ialah konfigurasi lilitan dengan 2 segmen dan konfigurasi lilitan bersegmen sedikit yang digunakan disini ialah konfigurasi lilitan tanpa segmen. Konfigurasi lilitan ini dianggap telah mewakili konfigurasi lilitan yang lainnya untuk jenis variasi konfigurasi lilitan yang dilakukan.

Gambar 4.23 menunjukkan hasil pengamatan SEM konfigurasi lilitan dengan 2 segmen. Sebagai perbandingan, digunakan Gambar 4.21 dan Gambar 4.22 sebagai hasil yang diperoleh pada konfigurasi lilitan tanpa segmen.

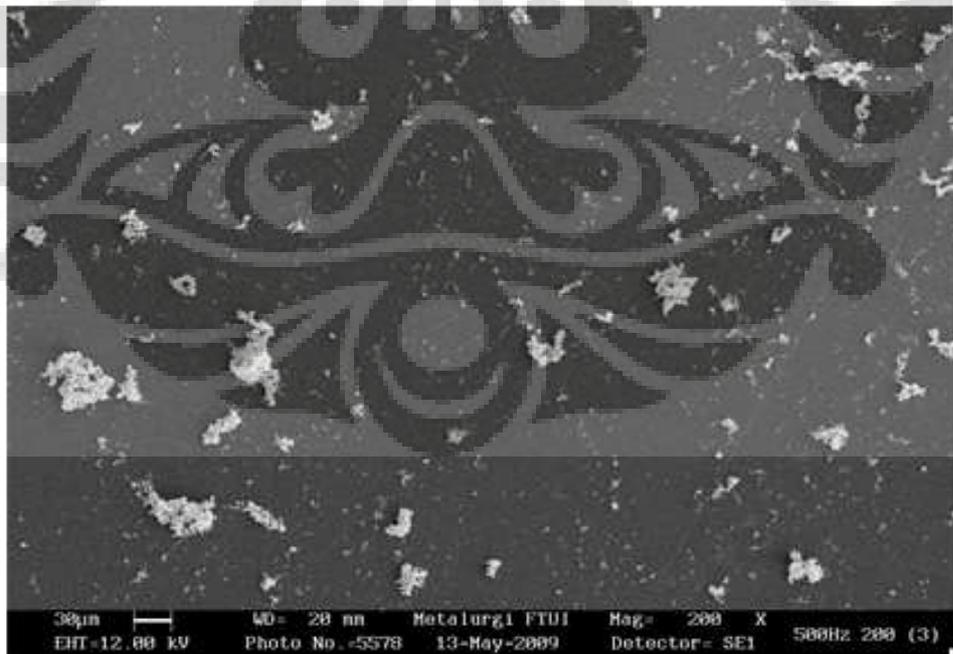


Gambar 4.23 Hasil SEM untuk 200 Lilitan pada Perbesaran Sebesar 1000 Kali dengan Kondisi Lama Sirkulasi 10 Menit, Laju Sirkulasi 19,02 ml/s, Konsentrasi Larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  Masing-Masing 0,02 M, Frekuensi 500 Hz, dan Tegangan 12 Volt.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa ketika pada suatu kumparan dibuat suatu segmen yang terhubung satu sama lain maka pola gaya magnet akan muncul beberapa kali yang dapat mengakibatkan terjadinya suatu fenomena dimana terdapat suatu denyutan gaya yang terjadi diantara ruang kosong yang terdapat diantara segmen. Denyutan tersebut dapat menyebabkan gangguan yang lebih besar pada ion sehingga ion akan terdesak lebih dekat pada ion lainnya sehingga presipitasi lebih mudah terjadi dan akan menghasilkan jumlah presipitan yang lebih banyak. Disisi lain ruang kosong yang terdapat pada kumparan dapat menyebabkan adanya gradient medan magnet seperti yang telah dijelaskan pada tinjauan teori pada persamaan 2.30 dimana gradien merupakan faktor pengali yang dapat menambah besarnya gaya tarik suatu magnet. Semakin besar gradient medan magnetnya maka akan semakin besar gaya tarik magnetiknya dan akan semakin besar persen presipitasinya.

Pada kasus ini besarnya pengaruh medan magnet tidak akan terlihat. Energi yang dihasilkan oleh konfigurasi lilitan dengan 2 segmen akan lebih besar daripada energi yang dihasilkan oleh konfigurasi lilitan tanpa segmen. Hal ini terlihat dari besarnya persen presipitasi yang dihasilkan seperti yang telah diuraikan pada sub bab 4.1.4. Hasil yang dicapai pada konfigurasi lilitan dengan 2 segmen terlihat sama dengan hasil yang didapat pada konfigurasi lilitan tanpa

segmen yaitu semua kristal yang terbentuk adalah aragonit. Namun berbeda dengan konfigurasi lilitan tanpa segmen, terlihat pada Gambar 4.17 bahwa pada konfigurasi lilitan dengan 2 segmen, kristal aragonit terlihat cenderung mengumpul pada titik tertentu membentuk suatu gugus yang lebih besar. Diduga hal ini disebabkan oleh denyutan medan elektromagnetik yang terjadi sebanyak 3 kali yang dialami oleh partikel. Denyutan ini akan mendesak partikel yang terbentuk untuk membentuk suatu gugus kesatuan aragonit yang lebih besar. Hasil ini dapat dijadikan suatu dasar penyusunan sistem baru ketika kita ingin memisahkan partikel  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk dengan menggunakan filter sebelum air memasuki suatu sistem tertentu misalnya *heat exchanger*. Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa konfigurasi lilitan dapat mendorong terbentuknya suatu gugus kristal yang lebih besar yang merupakan gabungan dari kristal-kristal kecil tanpa mengubah jenis kristal yang menjadi penyusun dari gugus yang terbentuk. Hal ini terlihat ketika kita memperbesar *range* jangkauan pandang kita ke area yang lebih luas. Gambar 4.24 menunjukkan hasil SEM untuk konfigurasi lilitan dengan 2 segmen dengan perbesaran sebesar 200 kali dimana terlihat banyaknya gugus aragonit yang terbentuk pada kaca preparat yang diuji.



Gambar 4.24 Hasil SEM untuk Konfigurasi Lilitan dengan 2 Segmen pada Perbesaran Sebesar 200 Kali dengan Kondisi Lama Sirkulasi 10 Menit, Laju Sirkulasi 19,02 ml/s, Konsentrasi Larutan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  Masing-Masing 0,02 M, Frekuensi 500 Hz, dan Tegangan 12 Volt.

## BAB 5 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh medan elektromagnetik terhadap presipitasi  $\text{CaCO}_3$  dan kesadahan air studi kasus frekuensi, tegangan dan lilitan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada frekuensi hingga 32000 Hz, persen presipitasi  $\text{CaCO}_3$  akan cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya frekuensi. Sebaliknya pada frekuensi tinggi diatas 32000 Hz yang terjadi adalah sebaliknya semakin tinggi frekuensi yang diberikan maka persen presipitasi  $\text{CaCO}_3$  akan semakin turun.
2. Frekuensi tinggi hingga 32000 Hz mengarahkan pola kecenderungan pembentukan inti partikel  $\text{CaCO}_3$  yang lebih kecil daripada frekuensi rendah hal ini terbukti dengan terbentuknya partikel-partikel kecil yang berupa vaterit dengan intensitas yang lebih banyak daripada kristal vaterit pada frekuensi rendah.
3. Metode sirkulasi dinamik yang dilakukan akan menghasilkan persen presipitasi  $\text{CaCO}_3$  yang lebih besar daripada persen presipitasi  $\text{CaCO}_3$  tanpa sirkulasi sebagai akibat dari agitasi mekanik yang dihasilkan pada metode sirkulasi.
4. Semakin besar tegangan yang diberikan pada sistem maka akan semakin besar persen presipitasi  $\text{CaCO}_3$  yang terjadi. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar medan elektromagnetik yang diberikan pada air sadah maka semakin besar pula jumlah partikel  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk dan semakin besar kecenderungan partikel untuk membentuk kristal aragonite.
5. Semakin besar jumlah lilitan yang digunakan dalam peralatan *electromagnetic water treatment* maka akan semakin besar pula persen presipitasi  $\text{CaCO}_3$  yang dihasilkan dan semakin besar kecenderungan partikel untuk membentuk kristal aragonite.
6. Pola denyutan gaya dan gradien medan elektromagnetik yang dihasilkan dari lilitan dengan segmen pada variasi konfigurasi lilitan dapat menghasilkan persen presipitasi  $\text{CaCO}_3$  yang lebih besar daripada lilitan tanpa segmen dengan jumlah lilitan yang sama. Efek dari denyutan dan gradien medan

elektromagnetik ini akan membawa dampak pada pembentukan gugus kristal  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk dimana jumlah hentakan yang dihasilkan oleh lilitan dengan banyak segmen akan menghasilkan suatu gugus-gugus kristal yang lebih banyak dan lebih besar daripada denyutan yang dihasilkan oleh lilitan dengan sedikit segmen.



## REFERENSI

- Abdel-Aal, 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.
- Abdel-Aal, & Sawada, K. (2003). Inhibition of adhesion and precipitation of  $\text{CaCO}_3$  by aminopolyphosphonate. *Journal of Crystal Growth*, 256, 188-200.
- Barret, R.A., & Parsons, S.A. (1998). The influence of magnetic fields on calcium carbonate precipitation. *Water Research*, 32, 609.
- 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. (1997). Laboratory studies on magnetic water treatment and their relationship to a possible mechanism for scale reduction. *Desalination*, 109, 131-148.
- Chibowski, E., Lucyna, H., & Aleksandra, S. (2003). Adhesion of in situ precipitated calcium carbonate in the presence and absence of magnetic field in quiescent condition on different solid surface. *Water Research*, 37, 4685-4692.
- Cho, Young I., Chunfu Fan, & Byung-Gap Choi. (1997). Theory of electronic anti-fouling technology to control precipitation fouling in heat exchanger-power. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 24, 757-770.
- CoilField. (n.d). June 20, 2009. <http://www.ndt-d.org/EducationResources/CommunityCollege/MagParticle/Physics/>
- Colic, M., & Morse, D. (1997). Effects of amplitude of the radiofrequency electromagnetic radiation on aqueous suspensions and solutions, *Academic Press*, 200, 265-272.
- Elfil, H., & Roquesb, H. (2001). Role of hydrate phases of calcium carbonate on the scaling phenomenon. *Desalination*, 137, 177-186.
- Eriochrome Black T. (n.d.). February 25, 2009. [http://en.wikipedia.org/wiki/Eriochrome\\_Black\\_T](http://en.wikipedia.org/wiki/Eriochrome_Black_T)

- Evans, John M. (2008) *Siklus air*. April 13, 2008. U.S. Geological Survey <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclebahasahi>
- Fathi, A., Tlili, M., Gabrielli, C., Maurin, G., & Ben, Amor M. (2006). Effect of magnetic water treatment on homogenous precipitation of calcium carbonate. *Water Research*, 40, 1941-1950.
- Gabrielli, C., Jouhari, R., Maurin, G., & Keddami, M. (2001). Magnetic water treatment for scale prevention. *Water Research*, 35, 3249-3259.
- Gabrielli, C., Maurin, G., Poindessous, G., & Rosset, R. (1999). Nucleation and growth of calcium carbonate by an electrochemical scaling process. *Journal of Crystal Growth*, 200, 236-250.
- Hasson, David., Bramson, D., Litnoni-Relis, B., & Semiat, R. (1996). Influence of the flow system on the inhibitory action of CaCO<sub>3</sub> scale prevention additives. *Desalination*, 108, 67-79.
- Higashitani, K., Kage, A., Katamura, S., Imai, K., & Hatade, S. (1993). Effects of magnetic field on the formation CaCO<sub>3</sub> particles. *Journal Of Colloid Interface Science*, 156, 90-95.
- Higashitani, K., & Oshitani, J. (1998). Magnetic effect on thickness of adsorbed layer in aqueous solutions evaluated directly by atomic force microscope. *Journal of Colloid and Interface Science*, 204, 861-867.
- Iwasaki, M. (1993). Dynamic behavior of gas flow in gradient magnetic fields. *IEEE Transactions On Magnetism*, 29, 6.
- Kanginan, Marthen. (2000). *Fisika 2000 jilid 2B*. Erlangga: Jakarta.
- Kemmer, F. N. (1988). *The NALCO water handbook 2<sup>nd</sup> ed.* New York : McGraw-Hill Book Company.
- Knez, S., & Ciril, P. (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., Drazic, G., McGuinness, P. J., & Medena, T. (2003). Control over nano crystallization in turbulent flow in the presence of magnetic fields. *Materials Science and Engineering*, 23, 811- 815.
- Kozic, V., & Lipus, L. C. (2003). Magnetic water treatment for a less tenacious scale. *J. Chem. Inf. Comput. Sci*, 43, 1815-1819.

- Kurnia, Danny. (2008). *Induktor*. March 26, 2008. Epsilon Rekacipta Nusantara. <http://www.electroniclab.com/>
- Leonard, D., Tijing, 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*.
- Linke, W, F. (1958). *Solubilities inorganic and metal-organic compound vol 1, 4<sup>th</sup> Edition* D. Van Nostrad Company
- Parsons, S.A., Wang, L., Judd, S.J., & Stephenson, T. (1997). Magnetic water treatment of calcium carbonate scale-effect of pH control. *Water Research*, 31, 339.
- Powell, Sheppard T. (1954). *Water conditioning for industry*. New York: McGraw-Hill International Student Edition.
- Saksono, N. (2006). Magnetisasi air sadah untuk pencegahan pembentukan kerak. *Jurnal Teknologi*, 4, 292-302.
- Saksono, N., Setijo Bismo, Elsa Krisanti, & Roekmijati Widaningrum. (2006). Pengaruh medan magnet pada presipitasi  $\text{CaCO}_3$  untuk pencegahan kerak. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*. 2, No 2.
- Solenoid*. (n.d). March 21, 2008. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/>
- Hard water testing. (n.d.). June 14, 2008. <http://www.hardwater.org/>
- Wang, Y., Babchin, A. J., Cherny, L. Tt., Chow, R. S., & Sawatzky, R. P. (1997). Rapid onset of calcium carbonate crytalization under the influence of a magnetic field. *Water Research*, 31, 346-350.
- Wang, Y., Robert, J., & Forssberg, P. E. (1994). The influence of interparticle surface forces on the coagulation of weakly magnetic mineral ultrafines in a magnetic field. *Journal of Colloids and Surfaces*, 117-133.



### A. Contoh Perhitungan

- Perhitungan untuk sampel di titik awal sebelum sirkulasi

#### 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 E EDTA dihitung dengan persamaan :	

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

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

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

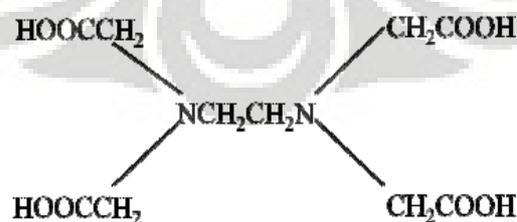
$$M_{EDTA} = 0,011013 \text{ mol/l}$$

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

$$V_{EDTA \text{ sebelum titrasi}} = 6,34 \text{ ml}$$

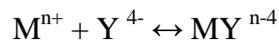
$$V_{Sampel CaCO_3} = 10 \text{ ml}$$

EDTA mempunyai struktur molekul sebagai berikut :

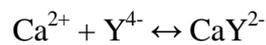


Dari struktur molekul tampak bahwa EDTA merupakan asam berbasa empat.

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 disisi lain reaksi pembentukan partikel  $CaCO_3$  adalah sebagai berikut:



Maka

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

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

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

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

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

$$= \frac{\left(\frac{0.011013 \text{ mol}}{l}\right) \times 6,34 \text{ ml} \times \frac{1000mg}{g} \times \frac{100g}{mol}}{10 \text{ ml}}$$

$$= 698,23 \text{ mg/l}$$

$$= 698,23 \text{ ppm}$$

- ⚡ Perhitungan untuk sampel  $CaCO_3$  setelah sirkulasi pada frekuensi 500 Hz, tegangan 12 Volt, 150 lilitan dan konfigurasi lilitan tanpa segmen

**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 sebelum sirkulasi, yaitu 0,011013 mol/l

Sehingga ppm  $CaCO_3$  adalah :

$V_{EDTA \text{ sebelum sirkulasi}} = 4,16 \text{ ml}$

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

$$\begin{aligned} ppm_{CaCO_3} &= \frac{M_{EDTA} \times V_{EDTA} \times \frac{1000mg}{g} \times BM_{CaCO_3}}{V_{CaCO_3}} \\ &= \frac{\left(\frac{0.011013 \text{ mol}}{l}\right) \times 4,16 \text{ ml} \times \frac{1000mg}{g} \times \frac{100g}{mol}}{10 \text{ ml}} \\ &= 458,15 \text{ mg/l} \\ &= 458,15 \text{ ppm} \end{aligned}$$

Persen presipitasinya adalah :

$$\begin{aligned} \% \text{ presipitasi} &= \left[ \frac{ppm_{CaCO_3 \text{ awal}} - ppm_{CaCO_3 \text{ waktu tertentu setelah sirkulasi}}}{ppm_{CaCO_3 \text{ awal}}} \right] \times 100\% \\ &= \left[ \frac{698,23 - 458,15}{698,23} \right] \times 100\% \\ &= 34,38 \% \end{aligned}$$

Berikut ini adalah data perhitungan hasil penelitian untuk proses non-treatment dan non-elektromagnetik

Non-treatment

Waktu	Volume EDTA	EDTA (mol/l)	ppm $CaCO_3$	Presipitasi Total
0	6.34	0.011013216	698.2378855	0
60	5.84	0.011013216	643.1718062	7.886435331
300	5.42	0.011013216	596.9162996	14.51104101
1500	5.16	0.011013216	568.2819383	18.61198738

Non-elektromagnetik

Waktu	Volume EDTA	EDTA (mol/l)	ppm CaCO <sub>3</sub>	Presipitasi Total
0	5.32	0.011013216	585.9030837	16.08832808
60	5.02	0.011013216	552.8634361	20.82018927
300	4.8	0.011013216	528.6343612	24.29022082
1500	4.54	0.011013216	500	28.39116719

## B. Variasi Frekuensi

Frekuensi 500 Hz

Waktu	Volume EDTA	EDTA (mol/l)	ppm CaCO <sub>3</sub>	Presipitasi Total
0	4.16	0.011013216	458.1497797	34.38485804
60	4	0.011013216	440.5286344	36.90851735
300	3.9	0.011013216	429.5154185	38.48580442
1500	3.8	0.011013216	418.5022026	40.06309148

Frekuensi 2000 Hz

Waktu	Volume EDTA	EDTA (mol/l)	ppm CaCO <sub>3</sub>	Presipitasi Total
0	3.2	0.011013216	352.4229075	49.52681388
60	3.02	0.011013216	332.5991189	52.3659306
300	2.7	0.011013216	297.3568282	57.41324921
1500	2.16	0.011013216	237.8854626	65.93059937

Frekuensi 8000 Hz

Waktu	Volume EDTA	EDTA (mol/l)	ppm CaCO <sub>3</sub>	Presipitasi Total
0	3	0.011013216	330.3964758	52.68138801
60	2.78	0.011013216	306.1674009	56.15141956
300	2.66	0.011013216	292.9515419	58.04416404
1500	2.04	0.011013216	224.6696035	67.82334385

Frekuensi 16000 Hz

Waktu	Volume EDTA	EDTA (mol/l)	ppm CaCO <sub>3</sub>	Presipitasi Total
0	2.96	0.011013216	325.9911894	53.31230284
60	2.7	0.011013216	297.3568282	57.41324921
300	2.36	0.011013216	259.9118943	62.77602524
1500	1.82	0.011013216	200.4405286	71.29337539