

## PENGARUH MEDAN MAGNET TERHADAP PROSES PRESIPITASI $\text{CaCO}_3$ DALAM AIR SADAH

Nelson Saksono<sup>1</sup>, Setijo Bismo<sup>1</sup>, Elsa Krisanti<sup>1</sup>, Azwar Manaf<sup>2</sup>, dan Roekmijati Widaningrum<sup>1</sup>

1. Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia

2. Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia

E-mail: nelson@che.ui.edu

### Abstrak

Magnetisasi air sadah yang bertujuan menurunkan kesadahan air merupakan proses fisik guna mencegah terbentuknya kerak ( $\text{CaCO}_3$ ) pada sistem perpipaan. Campuran larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  digunakan sebagai model air sadah sintetik guna mengamati pengaruh medan magnet terhadap pembentukan partikel  $\text{CaCO}_3$  dalam air sadah. Variabel proses meliputi waktu magnetisasi, kuat medan, dan konsentrasi larutan, sementara parameter yang akan diamati adalah jumlah deposit  $\text{CaCO}_3$ , jumlah presipitasi total  $\text{CaCO}_3$ , dan morfologi deposit  $\text{CaCO}_3$ . Perbandingan parameter pengamatan dilakukan terhadap sampel yang dimagnetisasi dan sampel non-magnetisasi. Hasil percobaan menunjukkan adanya peningkatan laju pembentukan deposit dan presipitasi total  $\text{CaCO}_3$  pada sampel yang dimagnetisasi dibanding sampel non-magnetisasi. Peningkatan konsentrasi sampel larutan juga meningkatkan persentase kenaikan deposit yang terbentuk dengan adanya pengaruh medan magnet. Hasil foto mikroskop menunjukkan jumlah partikel  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk pada sampel yang dimagnetisasi lebih banyak dan ukuran partikelnya lebih kecil dan disertai adanya pembentukan agregat. Hasil uji XRD menunjukkan hanya kristal kalsit yang dominan. Namun demikian, terlihat adanya penurunan intensitas puncak kalsit yang cukup signifikan pada sampel yang dimagnetisasi yang menunjukkan adanya penurunan jumlah kristal kalsit dan peningkatan jumlah amorf pada deposit  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa proses magnetisasi air sadah mendorong terjadinya penurunan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dalam larutan akibat adanya peningkatan proses presipitasi total  $\text{CaCO}_3$ .

### Abstract

**Magnetic Field Effects on  $\text{CaCO}_3$  Precipitation Process in Hard Water.** Magnetic treatment is applied as physical water treatment for scale prevention especially  $\text{CaCO}_3$ , from hard water in piping equipment by reducing its hardness.  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  and  $\text{CaCl}_2$  solution sample was used in to investigate the magnetic fields influence on the formation of particle of  $\text{CaCO}_3$ . By changing the strength of magnetic fields, exposure time and concentration of samples solution, this study presents quantitative results of total scale deposit, total precipitated  $\text{CaCO}_3$  and morphology of the deposit. This research was run by comparing magnetically and non-magnetically treated samples. The results showed an increase of deposits formation rate and total number of precipitated  $\text{CaCO}_3$  of magnetically treated samples. The increase of concentration solution sample will also raised the deposit under magnetic field. Microscope images showed a greater number but smaller size of  $\text{CaCO}_3$  deposits form in magnetically treated samples, and aggregation during the processes. X-ray diffraction (XRD) analysis showed that magnetically samples were dominated by calcite. But, there was a significant decrease of calcite's peak intensities from magnetized samples that indicated the decrease of the amount of calcite and an increase of total amorphous of deposits. This result showed that magnetization of hard water led to the decreasing of ion  $\text{Ca}^{2+}$  due to the increasing of total  $\text{CaCO}_3$  precipitation process.

*Keywords: Magnetic treatment, hard water, calcium carbonate precipitation,  $\text{CaCO}_3$  deposit morphology*

### 1. Pendahuluan

Pembentukan kerak pada dinding pipa dan unit-unit operasi akibat kesadahan air yang tinggi merupakan

masalah serius yang sering dijumpai di dalam industri. Pada umumnya, deposit kerak tersebut tersusun dari senyawa-senyawa yang kelarutannya rendah, seperti kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ).

Saat ini pengolahan air sadah untuk pencegahan pembentukan kerak umumnya dilakukan secara kimiawi yaitu dengan resin penukar ion dan penambahan inhibitor kerak. Metode secara kimiawi ini dapat mengubah sifat kimia larutan sehingga tidak cukup aman untuk penggunaan rumah tangga maupun industri makanan dan minuman. Selain itu investasinya yang cukup besar menyebabkan proses-proses kimiawi tersebut hanya cocok untuk industri yang memerlukan air olahan dalam jumlah besar. Pemanfaatan medan magnet untuk menurunkan kesadahan air merupakan metode yang menjanjikan mengingat prosesnya sederhana dan tidak mengubah sifat-sifat kimia air [1]. Namun, hingga saat ini para peneliti masih terus menyelidiki tentang bagaimana sesungguhnya fenomena presipitasi  $\text{CaCO}_3$  pada air sadah dengan adanya pengaruh medan magnet.

Model larutan air sadah yang banyak digunakan oleh para peneliti untuk melihat proses pembentukan partikel  $\text{CaCO}_3$  adalah campuran larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$ . Persamaan reaksinya dapat ditulis pada persamaan (1) :

$$\text{Na}_2\text{CO}_{3(\text{aq})} + \text{CaCl}_{2(\text{aq})} \rightarrow \text{CaCO}_{3(\text{s})} + 2\text{NaCl}_{(\text{aq})} \quad (1)$$

Wang *et al.* [2] melakukan magnetisasi pada campuran larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  dengan mengamati turbiditas larutan saat presipitasi. Wang [2] mendapatkan bahwa saat magnetisasi terjadi peningkatan nukleasi  $\text{CaCO}_3$  dan terbentuk partikel  $\text{CaCO}_3$  yang lebih banyak dengan ukuran partikel yang lebih kecil dibanding sampel non-magnetisasi.

Wang *et al.* [3] dalam penelitian sebelumnya telah berhasil membuktikan bahwa induksi medan magnet pada sistem koloid yang mengandung partikel mineral dengan kemagnetan lemah seperti  $\text{CaCO}_3$  ( $\chi = -4 \times 10^{-7} \text{ Vs/m}^2$ ) dapat menyebabkan gaya tarik menarik antar partikel. Gabrielli *et al.* [4] menggunakan model larutan  $\text{CaCO}_3$  dan sistem aliran sirkulasi mendapatkan adanya peningkatan laju presipitasi  $\text{CaCO}_3$  di fasa larutan selama proses magnetisasi. Presipitasi partikel  $\text{CaCO}_3$  dapat terjadi di fasa larutan dan di fasa permukaan berupa deposit. Total presipitasi  $\text{CaCO}_3$  merupakan gabungan presipitasi dari kedua fase tersebut.

Morfologi partikel  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk dapat berupa amorf dan juga polimorf berupa kristal kalsit, aragonit dan vaterit. Kristal kalsit merupakan kristal yang paling banyak dijumpai pada kerak  $\text{CaCO}_3$ , dan bersifat menempel kuat di permukaan (*hard scale*). Aragonit dijumpai sebagai kerak  $\text{CaCO}_3$  yang mudah terlepas dari dinding (*soft scale*), sedangkan vaterite bersifat tidak stabil dan bertransformasi lanjut menjadi kalsit [5]. Knez *et al.* [6] dan Kobe *et al.* [7] dengan memakai larutan  $\text{CaCO}_3$  dan kuat medan magnet di atas 1 T mendapatkan adanya peningkatan aragonit pada fasa larutan. Chibowski *et al.* [8] dengan memakai larutan

$\text{Na}_2\text{CO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  tidak mendapatkan peningkatan jumlah aragonit yang signifikan di larutan.

Pengamatan morfologi kristal  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk di permukaan di bawah pengaruh medan magnet menjadi penting mengingat Kerak adalah partikel  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk di dinding pipa (deposit) .

Tujuan studi ini adalah mengkaji fenomena presipitasi  $\text{CaCO}_3$  baik di fasa larutan maupun di permukaan di bawah pengaruh medan magnet. Morfologi deposit  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk sebagai hasil presipitasi juga akan diselidiki guna mendapatkan pemahaman yang lebih baik terhadap fenomena ini.

## 2. Eksperimental

### 2.1 Larutan sampel

Larutan  $\text{CaCl}_2$  dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dibuat dengan melarutkan padatan  $\text{CaCl}_2$  dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  p.a grade (Merck) dengan air demin (resistivity  $\approx 18 \text{ M}\Omega$ ) untuk menghasilkan larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dengan konsentrasi 0,005 M, 0,010 M, 0,015 M, dan 0,020 M. Demikian juga untuk larutan  $\text{CaCl}_2$ .

### 2.2 Medan Magnet

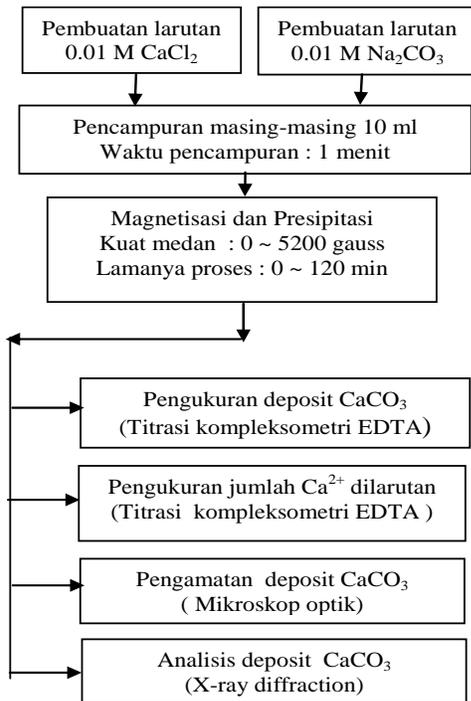
Medan magnet statik dihasilkan dari sepasang magnet permanen berbasis Neodymium yang diletakkan pada rangka aluminium dengan jarak antar kutub-kutubnya 15 mm. Kuat medan di tengah-tengah dua kutub tersebut dihasilkan sebesar 5200 Gauss menggunakan alat ukur Gaussmeter (Hirst GM 04). Dimensi setiap keping magnet adalah 100 x 15 x 20 mm. Kuat medan magnet induksi divariasikan dengan mengatur jarak antar magnet sehingga didapat kuat medan sebesar 5200, 4000, dan 2000 Gauss.

### 2.3 Prosedur Percobaan

Skema prosedur percobaan dapat dilihat pada Gambar 1. Larutan 0,01 M  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dan 0,001 M  $\text{CaCl}_2$  masing-masing 10 ml dicampur dalam tabung reaksi gelas (15 mm OD x 140 mm H) selama satu menit dan dilanjutkan dengan magnetisasi . Suhu larutan dianggap sama dengan suhu kamar yaitu 28 – 29 °C.

Setelah proses magnetisasi dan presipitasi, larutan dalam tabung reaksi dikeluarkan untuk diukur kandungan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dengan titrasi EDTA. Deposit yang tertinggal pada dinding tabung reaksi dilarutkan dengan HCl 0,1 M dan dititrasi dengan EDTA untuk mengukur jumlah depositnya (akurasi  $\approx 0.1 \text{ mg}$  sebagai  $\text{CaCO}_3$ ).

Sampel pengamatan deposit  $\text{CaCO}_3$  untuk mikroskop optik dan XRD dibuat dengan mencelupkan kaca preparat ke dalam larutan sampel secara vertikal. Hal ini bertujuan agar  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk pada permukaan kaca hanya deposit  $\text{CaCO}_3$  (*direct adhesion*) dan bukan



Gambar 1. Prosedur percobaan

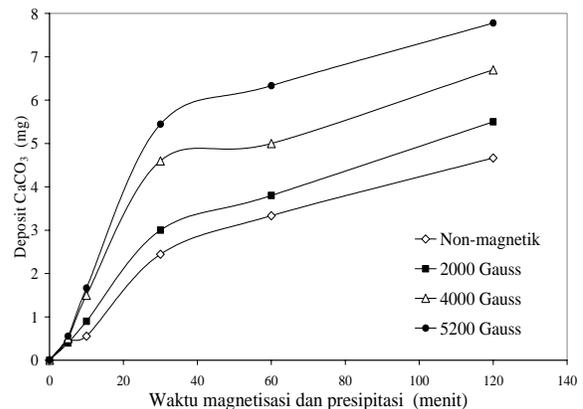
dari pengendapan  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk dari larutan. Objek pada kaca preparat akan diperbesar menggunakan mikroskop optik (Olympus HM 20) yang dilengkapi kamera untuk mendapatkan gambar foto. Kaca preparat lainnya akan digunakan untuk menganalisis struktur kristal deposit menggunakan X-RD Philips PW 1710 dengan Ni-filtered Cu  $K\alpha$  radiation ( $\lambda = 0.154184$  nm) pada 40 kV dan 30 mA, harga  $2\theta$  dipindai pada rentang  $20 - 60^\circ$  dengan interval step  $0.01^\circ$  dan lama per step 1 detik.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Efek magnetisasi pada pembentukan deposit $\text{CaCO}_3$ dan presipitasi total $\text{CaCO}_3$

Presipitasi total  $\text{CaCO}_3$  pada air sadah merupakan gabungan presipitasi  $\text{CaCO}_3$  di larutan dan di permukaan (deposit). Jumlah deposit  $\text{CaCO}_3$  dan total presipitasi  $\text{CaCO}_3$  merupakan parameter yang diukur langsung dalam percobaan ini, sedangkan jumlah partikel  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk di larutan dapat dihitung dengan menggunakan neraca massa.

Gambar 2 menunjukkan karakteristik pembentukan deposit  $\text{CaCO}_3$  yang memperlihatkan terjadi peningkatan jumlah deposit  $\text{CaCO}_3$  dengan bertambahnya waktu presipitasi. Terjadi peningkatan laju pembentukan deposit  $\text{CaCO}_3$  pada 30 menit pertama presipitasi dengan meningkatnya kuat medan.

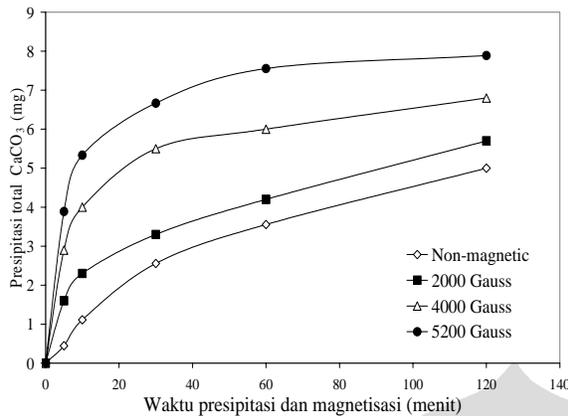


Gambar 2. Jumlah deposit  $\text{CaCO}_3$  fungsi waktu magnetisasi dan presipitasi pada berbagai kuat medan.

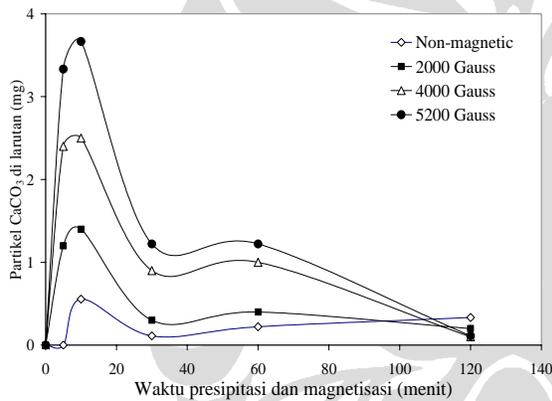
Laju pembentukan deposit  $\text{CaCO}_3$  setelah 30 menit presipitasi menunjukkan harga yang konstan meskipun proses magnetisasi terus dilakukan. Hal ini menunjukkan efek magnetisasi signifikan terlihat pada 30 menit pertama presipitasi.

Gambar 3 menunjukkan pengaruh magnetisasi terhadap presipitasi total  $\text{CaCO}_3$ . Terjadi peningkatan laju presipitasi  $\text{CaCO}_3$  dengan meningkatnya kuat medan pada 10 menit pertama presipitasi. Laju total presipitasi setelah 10 menit menunjukkan harga yang relatif sama untuk semua kuat medan meskipun magnetisasi terus dilakukan. Hal ini menunjukkan efek magnetisasi dominan terjadi pada 10 menit pertama presipitasi. Hal ini disebabkan pada tahap awal presipitasi total  $\text{CaCO}_3$  lebih didominasi fasa larutan seperti yang terlihat pada Gambar 4 dan kontribusinya semakin kecil dengan semakin berkurangnya ion  $\text{Ca}^{2+}$  di larutan.

Gambar 4 menunjukkan hasil perhitungan jumlah partikel  $\text{CaCO}_3$  di larutan. Terjadi peningkatan jumlah partikel  $\text{CaCO}_3$  pada 10 menit pertama presipitasi dengan meningkatnya kuat medan. Selanjutnya, terjadi penurunan jumlah partikel  $\text{CaCO}_3$  di larutan yang menunjukkan terjadinya transformasi partikel di larutan menjadi endapan dan deposit. Hasil ini sesuai dengan percobaan yang dilakukan oleh Barret et al. [9] dan Higashitani *et al.* [10] yang mendapatkan puncak presipitasi  $\text{CaCO}_3$  dilarutan terjadi disekitar 9 menit pertama presipitasi. Adanya transformasi partikel di larutan menjadi endapan dan deposit setelah 10 menit presipitasi menyebabkan peningkatan laju deposit  $\text{CaCO}_3$  masih terjadi hingga 30 menit presipitasi. Penambahan jumlah presipitasi total  $\text{CaCO}_3$  setelah 30 menit presipitasi lebih didominasi oleh presipitasi permukaan. Hal ini disebabkan kemampuan presipitasi  $\text{CaCO}_3$  di permukaan tetap tinggi meskipun pada konsentrasi ion  $\text{Ca}^{2+}$  di larutan rendah [11].



Gambar 3. Presipitasi total CaCO<sub>3</sub> fungsi waktu presipitasi dan magnetisasi pada berbagai kuat medan



Gambar 4. Jumlah partikel CaCO<sub>3</sub> dilarutan fungsi waktu magnetisasi dan presipitasi pada berbagai kuat medan

**3.2. Pengaruh konsentrasi larutan terhadap pembentukan deposit CaCO<sub>3</sub>.**

Pada percobaan ini dilakukan variasi konsentrasi larutan NaCO<sub>3</sub> dan CaCl<sub>2</sub> untuk melihat pengaruh kesadahan (konsentrasi ion Ca<sup>2+</sup>) larutan sampel terhadap jumlah deposit yang terbentuk dibawah pengaruh medan magnet. Tabel 1 menunjukkan terjadi peningkatan jumlah deposit CaCO<sub>3</sub> yang terbentuk untuk semua konsentrasi sampel larutan dengan adanya medan magnet. Selain itu terjadi peningkatan persentase kenaikan deposit CaCO<sub>3</sub> dengan makin tingginya konsentrasi larutan.

Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Wang [3] yang mengatakan bahwa interaksi antar partikel dalam medan magnet akan semakin besar dengan semakin kecilnya jarak antar partikel (konsentrasi partikel makin besar) dan makin besarnya ukuran partikel, dimana hal tersebut ditunjukkan dengan makin banyaknya deposit yang terbentuk.

**Tabel 1. Jumlah deposit CaCO<sub>3</sub> yang terbentuk pada berbagai konsentrasi larutan dengan kuat medan 5200 Gauss dan waktu presipitasi 120 menit.**

Konsentrasi larutan NaCO <sub>3</sub> & CaCl <sub>2</sub> [M]	Deposit CaCO <sub>3</sub> (mg)		Persentase Kenaikan deposit (%)
	Non magnetik	Magnetik	
0.005	2.0	3.1	53
0.01	4.7	7.8	64
0.015	5.9	9.7	66
0.02	7.0	11.7	67

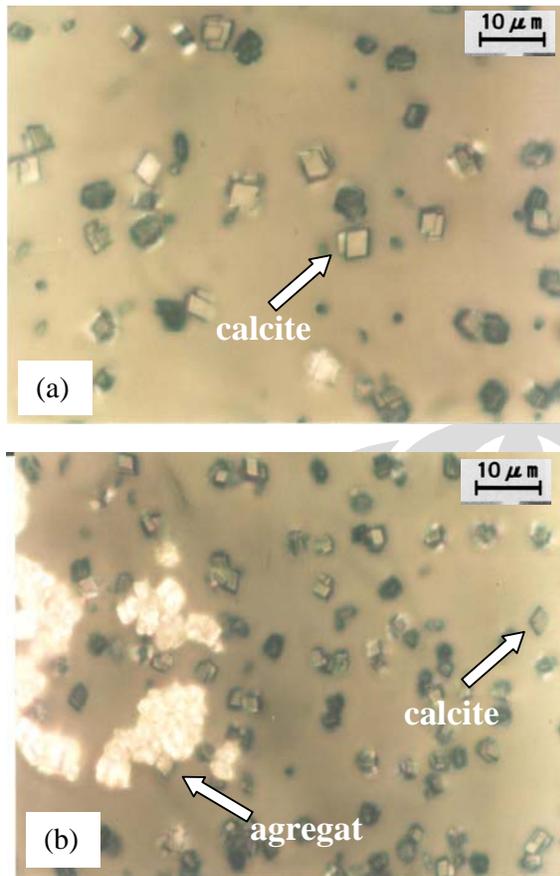
**3.3 Morfologi Deposit CaCO<sub>3</sub>**

Hasil analisis foto mikroskop (Gambar 5) deposit CaCO<sub>3</sub> menunjukkan terjadi peningkatan jumlah partikel CaCO<sub>3</sub> pada sampel yang dimagnetisasi dibanding sampel non-magnetik. Ukuran partikel CaCO<sub>3</sub> pada deposit sampel yang dimagnetisasi terlihat lebih kecil dibanding sampel non-magnetik sebagaimana yang juga diamati oleh Wang Y *et al.* [2]. Gambar 5(a) menunjukkan terjadi pembentukan kristal kalsit untuk deposit sampel non-magnetik yang ditandai adanya partikel berbentuk kubus dengan densitas tinggi [10]. Gambar 5(b) menunjukkan karakteristik deposit sampel yang dimagnetisasi. Terlihat adanya kristal kalsit yang disertai terbentuknya agregat dari partikel CaCO<sub>3</sub>. Hasil uji foto ini secara umum mendukung hasil uji deposit dan presipitasi total CaCO<sub>3</sub> yang menunjukkan bahwa proses magnetisasi menyebabkan terjadinya peningkatan presipitasi CaCO<sub>3</sub>, baik di fasa larutan maupun di permukaan.

Hasil analisis struktur kristal deposit dengan alat XRD dapat dilihat pada gambar 6. Terlihat bahwa hanya ada satu puncak dominan yang muncul pada sudut 2θ = 29,53<sup>0</sup> yang merupakan sudut pembentukan kristal kalsit. Untuk sampel non-magnetik. Pada gambar 6(a) teramat sejumlah kecil kristal vaterit pada sudut 2θ = 26,41<sup>0</sup>.

Gambar 6(b) menunjukkan terjadinya penurunan jumlah kristal kalsit yang signifikan pada sampel termagnetisasi, yang ditandai dengan penurunan puncak kalsit dibanding sampel non-magnetik (Gambar 6(a)). Hal ini menunjukkan bahwa proses magnetisasi mendorong terbentuknya deposit yang bersifat amorf. Diduga hal ini terjadi karena adanya proses agregasi pada pembentukan deposit CaCO<sub>3</sub> seperti yang terlihat pada Gambar 5(b). Hasil ini sesuai dengan pengamatan oleh Abdel *et al.* [6] menggunakan XRD dan Scanning Electron Microscopy (SEM) dengan jenis larutan yang sama tanpa medan magnet.

Abdel [6] mendapatkan bahwa struktur kalsit mendominasi pembentukan kristal permukaan.

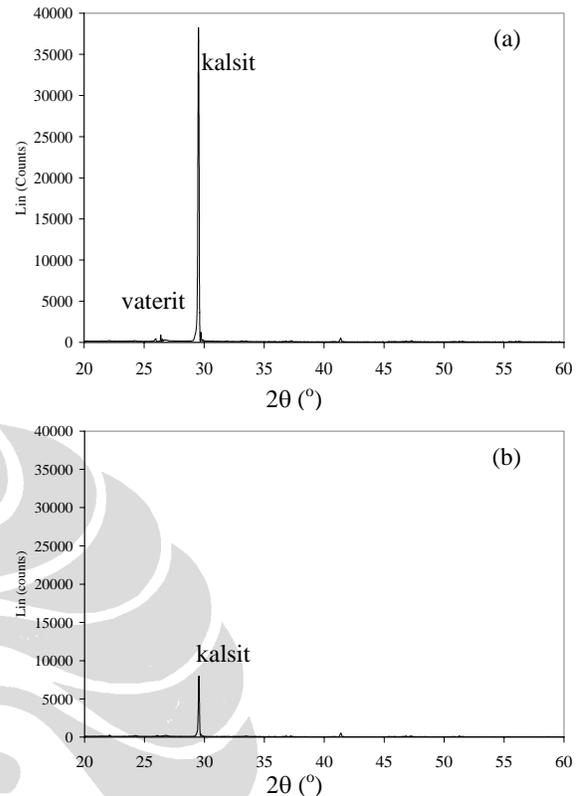


Gambar 5. Foto mikroskop deposit  $\text{CaCO}_3$  pada presipitasi 30 menit: (a) sampel non-magnetik ; (b) sampel magnetik

Sebaliknya kristal vaterit bersifat tidak stabil dan mudah bertransformasi lanjut menjadi kristal kalsit. Kristal vaterit juga sulit tumbuh di permukaan disebabkan bentuk geometriaknya [6]. Tidak terdeteksinya aragonit pada deposit dapat disebabkan oleh *electronic ground state* kalsit lebih rendah dibanding aragonit yang berakibat ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  membutuhkan energi kinetik yang lebih tinggi untuk membentuk aragonit dibanding kalsit [8]. Meningkatnya komposisi amorf pada deposit  $\text{CaCO}_3$  untuk sampel magnetik memberikan keuntungan pada peralatan magnetisasi air sadah karena partikel  $\text{CaCO}_3$  amorf lebih mudah untuk dipisahkan dari dinding pipa.

### 3.4 Magnetisasi air untuk pencegahan kerak.

Magnetisasi air sadah berdasarkan percobaan ini dapat meningkatkan presipitasi  $\text{CaCO}_3$  yang ditandai jumlah deposit  $\text{CaCO}_3$  dan total presipitasi  $\text{CaCO}_3$  yang lebih banyak. Dengan demikian proses magnetisasi dapat menurunkan kandungan ion  $\text{Ca}^{2+}$  di larutan yang merupakan indikator utama kesadahan air. Makin

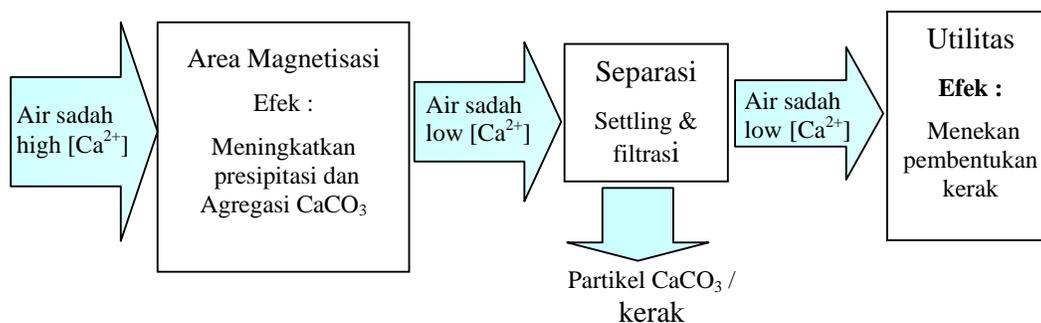


Gambar 6. Analisis XRD deposit kristal  $\text{CaCO}_3$  pada 120 menit presipitasi: (a) sampel non-magnetik (b) sampel magnetik.

rendah kesadahan air, maka potensi pembentukan kerak ( $\text{CaCO}_3$ ) semakin berkurang. Untuk itu proses magnetisasi air untuk pencegahan kerak membutuhkan perlakuan lanjut setelah air dimagnetisasi, yaitu proses separasi dengan pengendapan dan filtrasi seperti dapat dilihat pada Gambar 7.

Efektivitas dari proses magnetisasi ini adalah bagaimana menurunkan kandungan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dilarutan sebanyak-banyaknya dengan meningkatkan laju presipitasi. Selain itu sifat amorf pada deposit partikel  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk akan memudahkan pemisahan deposit  $\text{CaCO}_3$  dari dinding pipa.

Karakteristik dan perilaku pembentukan partikel  $\text{CaCO}_3$  (kerak) pada air sadah sesudah proses magnetisasi akan dilakukan pada penelitian selanjutnya guna mendapat jawaban yang lebih lengkap tentang pengaruh medan magnet terhadap pembentukan  $\text{CaCO}_3$  saat magnetisasi dan sesudah magnetisasi.



Gambar 7. Sistem pengolahan air sadah dengan magnetisasi untuk pencegahan kerak

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini membuktikan adanya peningkatan laju presipitasi  $\text{CaCO}_3$  yang sebanding dengan intensitas kuat medan magnet.

Peningkatan laju presipitasi total  $\text{CaCO}_3$  terjadi pada 10 menit pertama presipitasi dan laju pembentukan deposit  $\text{CaCO}_3$  terjadi pada 30 menit pertama presipitasi. Terjadi peningkatan persentase kenaikan deposit dengan bertambahnya kesadahan akibat pengaruh medan magnet.

Medan magnet menyebabkan terjadinya peningkatan jumlah partikel dan penurunan ukuran partikel  $\text{CaCO}_3$  serta terbentuknya fase agregat. Kristal deposit yang terbentuk didominasi struktur kalsit dan medan magnet mendorong terbentuknya fase amorf.

Adanya peningkatan presipitasi total dan pembentukan struktur amorf pada partikel  $\text{CaCO}_3$  akibat medan magnet menunjukkan proses ini layak diaplikasikan untuk pengolahan air sadah.

#### Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini sebagian didanai oleh Osaka Gas Foundation – PPST-UI tahun anggaran 2005, untuk itu kami mengucapkan banyak terima kasih. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Diah Satiti, Haris Nova, dan Fajar Ariessita atas bantuannya dalam melakukan preparasi dan pengujian sampel dan juga kepada seluruh personil Lab. Termodinamika Energi &

Lingkungan Departemen Teknik Kimia FTUI yang telah memfasilitasi terlaksananya penelitian ini.

#### Daftar Acuan

- [1] V. Kozic, and L. C. Lipus, J. Chem. Inf. Comput. Sci. 43 (2003) 1815-1819.
- [2] Y. Wang Babchin A. J, Chernyi L. T, Chow R. S, Sawatzky R. P, Water Research. **31** (1997) 346-350.
- [3] Y. Wang, Pugh R J, Forssberg E, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 90 (1994) 117-133.
- [4] C. Gabrielli, R. Jaouhari, G. Maurin, M. Keddad, Water Research. 35 (2001) 3249 - 3259.
- [5] N. Abdel-Aal, K. Satoh, K. Sawada, Journal of Crystal Growth 245 (2002) 87-100.
- [6] S. Knez, Ciri Pohar, Journal of Colloid and Interface Science 281 (2005) 377-388.
- [7] S. Kobe, G. Draz'ic', A.C. Cefalas, E. Sarantopoulou, Crystal Engineering 5 (2002) 243-253.
- [8] E. Chibowski E, Lucyna Ho ysz, Aleksandra Szcze, Water Research 37 (2003) 4685-4692.
- [9] R. A. Barrett, S.A Parsons, Water Research. 32 (3) (1998) 609-612.
- [10] K. Higashitani, A. Kage, S. Katamura, K. Imai, K. S. Hatade, J. Colloid Interf. Sci. 156 (1993) 90-95.
- [11] Ben Amor, M., Zgolli, D., Tlili, M. M., Manzola, A.S., Desalination, 166 (2004) 79-84.