

Pengaruh Medan Elektromagnet Terhadap Presipitasi CaCO_3

Nelson Saksono¹, Angga Wijaya¹, dan Trisutanti Budikania²

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

²Akademi Kimia Analisis Bogor

E-mail: nelson@che.ui.ac.id

Abstrak

Electromagnetic water treatment (EWT) merupakan metode yang berpotensi dikembangkan untuk menurunkan kesadahan air. Medan elektromagnet dapat mendorong presipitasi in Ca^{2+} dan CO_3^{2-} pada air sadah membentuk CaCO_3 sehingga kesadahan menurun. Untuk itu, perlu adanya suatu penelitian guna menguji pengaruh medan elektromagnet terhadap pembentukan partikel dan jenis kristal CaCO_3 agar mendapatkan suatu sistem EWT yang efektif menurunkan kesadahan. Percobaan dilakukan dengan memvariasikan jumlah lilitan, frekuensi, tegangan, dan jumlah kumparan pada alat EWT. Metode analisis yang digunakan adalah titrasi EDTA untuk mengukur konsentrasi ion Ca^{2+} dan Spectroscopy Electron Microscope (SEM) untuk melihat jenis kerak yang terjadi. Hasil percobaan menunjukkan bahwa medan elektromagnet dapat memicu terbentuknya CaCO_3 dalam jumlah yang lebih besar daripada non elektromagnet.

Abstract

Electromagnetic water treatment (EWT) a method that can be developed to reduce the hardness of water. The electromagnetic field can promote the precipitation of Ca^{2+} and CO_3^{2-} ions to form CaCO_3 therefore reducing the hardness. To investigate the extent of the precipitation, need to be conducted to test the effect the effect of electromagnetic field on the formation of CaCO_3 and crystal types. The research has been conducted by varying the number of coils, as well as the frequency and voltage of the system. The methods of analysis used were the EDTA titration to measure concentration of Ca^{2+} and Spectroscopy Electron Microscope (SEM) for imaging of crystals produced. The result indicates that electromagnetic fields were able to trigger to form a larger amount of CaCO_3 than that in non- electromagnetic fields.

Keyword: Electromagnetic, Water Hardness, Precipitation, CaCO_3 , Scale.

Pendahuluan

Air tanah banyak mengandung mineral-mineral terlarut seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , bikarbonat (HCO_3^-), dan gas CO_2 yang menyebabkan kesadahan pada air. Rendahnya efektivitas proses pencucian dan meningkatnya konsumsi sabun serta terbentuknya kerak pada sistem perpipaan merupakan permasalahan klasik yang sering terjadi akibat kandungan ion Ca yang tinggi pada air sadah. Kerak dapat mengurangi kecepatan aliran dalam pipa, meningkatkan konsumsi energi pada pompa dan mengurangi transfer panas pada *heat exchanger* ataupun evaporator (Kney et al., 2006). Metoda pengolahan air yang umum digunakan untuk mengontrol terbentuknya kerak 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 dan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan.

Metode pengolahan air secara fisik seperti ultrasonik, radiasi ultraviolet, magnetik dan elektromagnetik merupakan teknologi alternatif yang banyak dikembangkan saat ini karena relatif aman terhadap manusia maupun lingkungan. (Saksono dkk., 2006).

Metode pengolahan air sadah menggunakan medan elektromagnet memberikan suatu keuntungan tersendiri karena dampaknya yang tidak menimbulkan perubahan kimia terhadap produk air yang diolah serta biaya pemeliharaan dan operasionalnya yang relatif rendah. 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 CaCO_3 . Hasil penelitian terkini menunjukkan bahwa penggunaan medan elektromagnet pada air sadah mampu meningkatkan pembentukan jumlah partikel CaCO_3 hingga 540 % (Leonard et al., 2007).

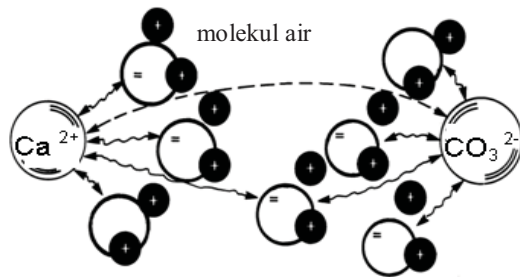
Medan elektromagnet dapat mempengaruhi jenis kristal CaCO_3 yang terbentuk. Kristal kalsit merupakan kristal yang paling banyak dijumpai pada

kerak CaCO_3 , dan bersifat menempel kuat di permukaan (*hard scale*). Aragonit dijumpai sebagai kerak CaCO_3 yang mudah terlepas dari dinding (*soft scale*), sedangkan vaterite bersifat tidak stabil dan bertransformasi lanjut menjadi kalsit (Abdel et al., 2002). Knez (2005) dan Kobe (2002) dengan memakai larutan CaCO_3 dan kuat medan magnet di atas 1 T mendapatkan adanya peningkatan aragonit pada fasa larutan.

Sistem EWT yang efektif adalah yang mampu mendorong presipitasi CaCO_3 , sehingga kandungan ion Ca^{2+} pada air sadah dapat diturunkan. Untuk itu diperlukan studi pengaruh kondisi operasi EWT terhadap proses presipitasi CaCO_3 pada air sadah.

Landasan Teori

Ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} pada air sadah akan dikelilingi oleh molekul air membentuk suatu lapisan (*hydration shell*) yang disebut hidrat ion. Hydration shell ini akan menahan bergabungnya ion-ion tersebut membentuk molekul CaCO_3 seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Orientasi molekul air Terhadap ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} dalam larutan.

Kekuatan interaksi hidrat ion dapat dipengaruhi oleh agitasi mekanik, suhu, konsentrasi ion dan medan elektromagnet. Medan elektromagnet dapat memperlemah ion dan molekul air dan meningkatkan tumbukan antara ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} sehingga mempercepat laju nukleasi dan presipitasi CaCO_3 .

Laju nukleasi CaCO_3 (J) dapat dirumuskan pada persamaan (1) sebagai berikut (Cho et al., 1997)

$$J = A \exp \left[\frac{-\Delta G}{kT} \right] = A \exp \left[\frac{-16\pi r^3 v^2}{3kT^3 T^3 (\ln S)^3} \right] \quad (1)$$

Dimana A : faktor frekuensi; T : suhu; S : faktor supersaturasi/konsentrasi ; dan v : Volume molekular.

Faktor frekuensi mengatur jumlah dan efektivitas tumbukan yang berhubungan dengan jumlah tumbukan total. Medan elektromagnet dapat

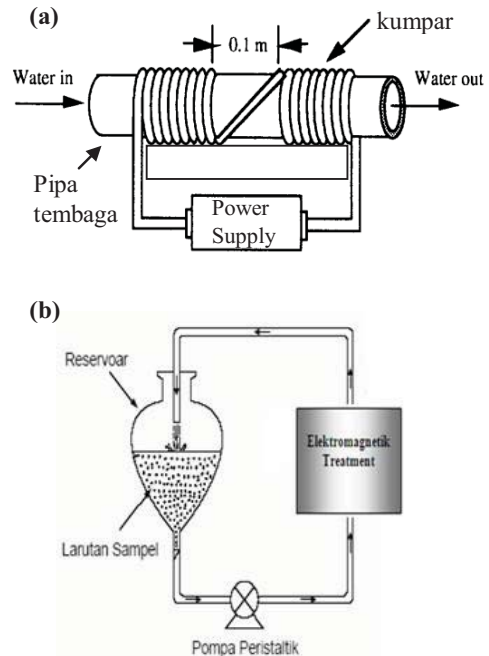
merubah faktor frekwensi sehingga keefektifan dari tumbukan ion-ion meningkat dan akhirnya akan menghasilkan nukleasi (Cho et al.1997).

Perubahan faktor frekuensi meyebabkan melemahnya ikatan hidrogen antara ion dan molekul air di sekelilingnya. Medan elektromagnet mengorientasikan penggabungan ion (baik positif maupun negatif) dengan meningkatkan momen dipolnya (Kozic et al., 2003). Hal ini merupakan basis dalam memahami peningkatan presipitasi CaCO_3 dibawah pengaruh medan elektromagnet.

Metode Percobaan

Sampel air sadah dibuat dengan mencampurkan larutan NaHCO_3 dan CaCl_2 masing-masing 0,02 M. larutan NaHCO_3 dan CaCl_2 dibuat dengan cara melarutkan padatan NaHCO_3 dan CaCl_2 p.a grade (Merck) dengan menggunakan aquades.

Peralatan EWT yang digunakan terdiri dari pipa tembaga yang dililit dengan kawat tembaga dan Power supply yang dilengkapi dengan generator frekwensi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 (a). Sampel air sadah disirkulasi melewati medan elektromagnet menggunakan pipa silicon (ID 6 mm) dan pompa peristaltik seperti yang ditunjukkan pada gambar 2 (b).



Gambar 2. (a) Skema Peralatan Elektromagnet. (b) Konfigurasi sistem EWT

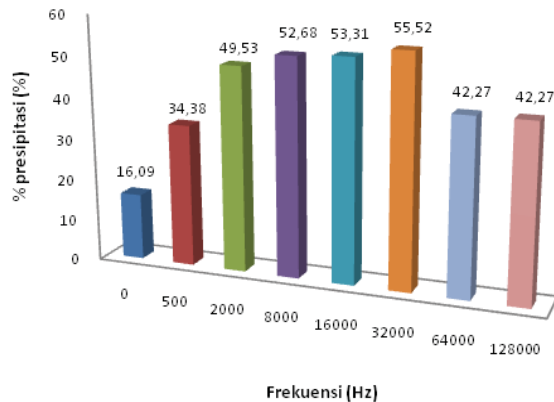
Proses *treatment* dilakukan dengan mencampurkan kedua larutan masing-masing sebanyak 50 mL pada reservoir dan mensirkulasikannya selama 10 menit dengan kecepatan 19,02 mL/s. Suhu larutan dianggap sama

dengan suhu kamar yaitu sebesar 28 – 29 °C. Setelah proses *treatment* larutan dalam tabung reservoir dikeluarkan untuk dilakukan proses pengujian.

pengujian meliputi titrasi kompleksometri EDTA untuk mengukur kandungan ion Ca^{2+} yang terdapat di dalam larutan dan SEM (*Spectroscopy Electron Microscope*) untuk mengamati jenis dan jumlah kristal yang terbentuk.

Hasil dan Pembahasan

Gambar 3 menunjukkan pengaruh frekuensi terhadap presipitasi CaCO_3 . Persen presipitasi CaCO_3 maksimum terjadi pada frekuensi 32000 Hz yaitu mencapai 55,52 %. Sedangkan untuk proses tanpa medan elektromagnet hanya sebesar 16,09 %. Hal ini menunjukkan bahwa medan elektromagnet meningkatkan proses presipitasi CaCO_3 hingga 347 %

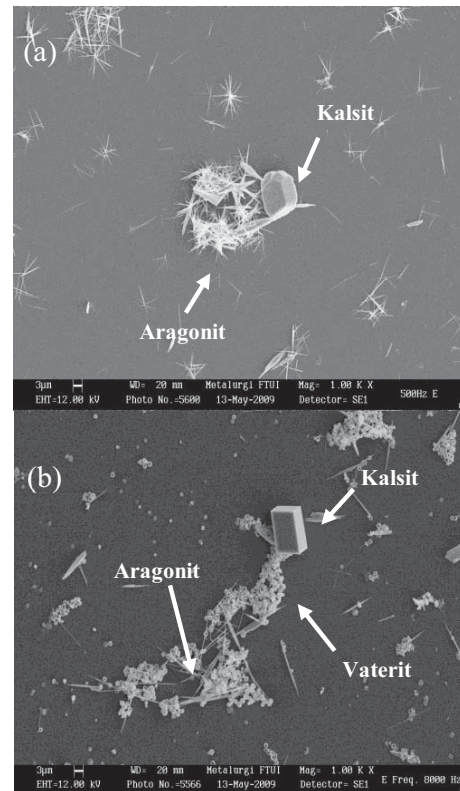


Gambar 3. Pengaruh Frekuensi terhadap Presipitasi CaCO_3 pada tegangan 12 volt, 1 kumparan, dan jumlah lilitan 150.

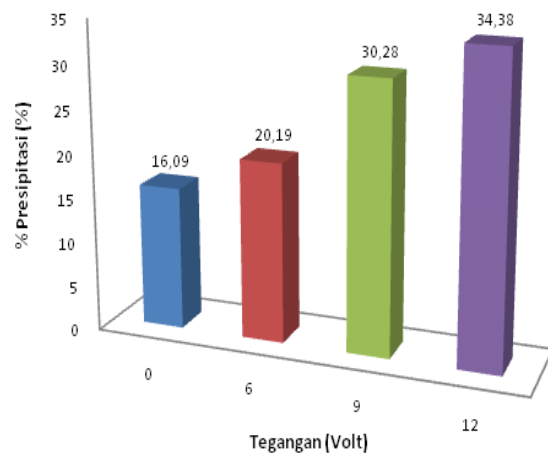
Presipitasi CaCO_3 sangat ditentukan oleh stabilitas ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} dalam larutan. Semakin kuat interaksi hidrat ion maka akan semakin stabil ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} dalam larutan, sehingga presipitasi CaCO_3 akan semakin sulit terjadi. Peningkatan frekuensi medan elektromagnet hingga 32000 Hz diduga memperlemah interaksi hidrat ion sehingga dapat meningkatkan efektifitas dan frekuensi tumbukan ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} . Hal tersebut menyebabkan meningkatnya presipitasi CaCO_3 dalam larutan.

Efek yang berbeda terjadi pada frekuensi diatas 32000 Hz. Persen presipitasi cenderung menurun dengan bertambahnya frekuensi yang diberikan (Gambar 3). Hal ini merupakan suatu fenomena unik yang memerlukan pengamatan lebih lanjut. Diduga frekuensi yang lebih tinggi dari 32000 Hz akan menyebabkan partikel CaCO_3 yang terbentuk menjadi tidak stabil sehingga terjadi proses pelarutan kembali (*resolving*).

Gambar 4 (a) menunjukkan bahwa pada frekuensi 500 Hz hanya terbentuk 2 jenis *scale* (kalsit dan aragonit) sedangkan pada frekuensi 8000 Hz terbentuk 3 jenis *scale* (kalsit, aragonit dan vaterit). Vaterit merupakan partikel CaCO_3 yang menyerupai bola yang mempunyai ukuran yang kecil. Jenis Kristal ini terlihat lebih mendominasi pada frekuensi yang lebih tinggi yaitu pada frekuensi 8000 Hz.



Gambar 4. (a) Hasil SEM untuk Frekuensi 500 Hz dan (b) Frekuensi 8000 Hz pada Perbesaran Sebesar 1000 Kali



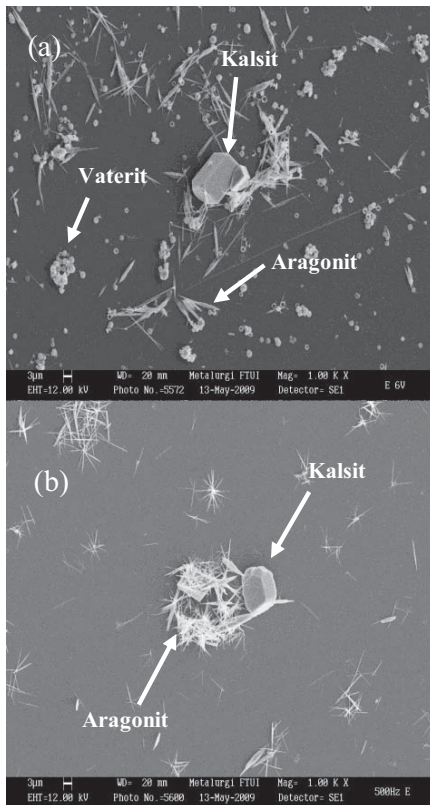
Gambar 5. Pengaruh Tegangan terhadap Presipitasi CaCO₃ pada frekwensi 500, 1 kumparan, dan jumlah lilitan 150.

Gambar 5 menunjukkan pengaruh tegangan terhadap presipitasi CaCO₃ total. Terjadi kenaikan persen presipitasi CaCO₃ dengan bertambahnya tegangan yang diberikan.

Kenaikan tegangan menyebabkan bertambahnya arus yang melewati kumparan selenoida pada alat EWT. Arus yang meningkat akan meningkatkan induksi medan elektromagnet pada air sadah sesuai dengan hukum Faraday.

Meningkatnya induksi medan elektromagnet akan meningkatkan efektivitas dan energi tumbukan antara ion Ca²⁺ dan CO₃²⁻ dalam larutan sehingga laju nukleasi dan presipitasi CaCO₃ bertambah. Meningkatnya induksi medan elektromagnet juga akan meningkatkan momen dipol ion-ion yang terlarut dalam air sadah dan menyebabkan meningkatkan gaya tarik coulomb antara ion-ion berbeda muatan. Hal tersebut mendorong terbentuknya partikel CaCO₃ dalam larutan (Kozic et al., 2003).

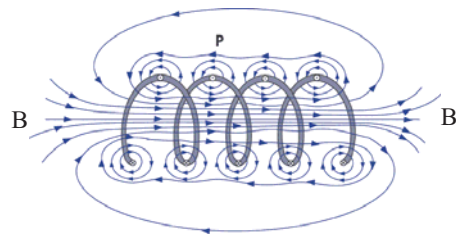
kristal CaCO₃ yang terbentuk. Gambar 6(a) menunjukkan pada tegangan 6 Volt, kristal terbentuk didominasi oleh jenis Vaterite, sementara pada tegangan 12 Volt, kristal yang terbentuk di dominasi Aragonit (Gambar 6(b)).



Gambar 6. (a) Hasil SEM untuk Tegangan 6 Volt dan **(b)** Tegangan 12 Volt pada Perbesaran 1000 Kali

Kristal Aragonit merupakan jenis kristal yang membutuhkan energi yang lebih besar dalam proses pembentukannya dibanding Kalsit dan Vaterit. *Ground state* Aragonit lebih tinggi 28 eV dibanding kalsit (Ben Amor et al., 2004).

Apabila kumparan dialirkan sejumlah arus tertentu maka setiap lilitan penyusunnya akan mempunyai fluks-fluks medan magnet (B) yang melingkari setiap lilitan tersebut seperti terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Fluks Medan Magnetik Setiap Lilitan pada Suatu Solenoida

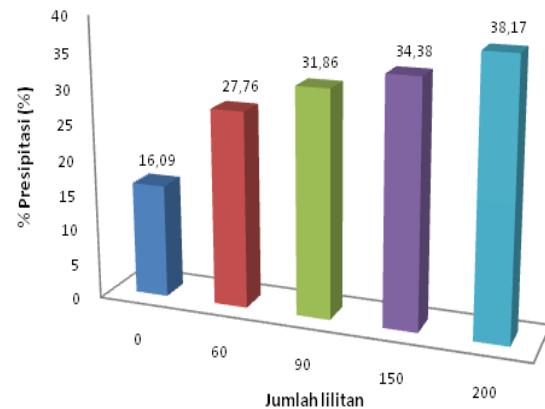
Besarnya fluks medan magnet B dapat dirumuskan dengan persamaan (2) sebagai berikut :

$$B = k \cdot n \cdot i \quad (2)$$

Dimana :

- K = Permeabilitas relatif
- n = jumlah lilitan
- i = kuat arus listrik

Semakin banyak jumlah lilitan maka akan semakin besar fluks medan magnetik yang dihasilkan.



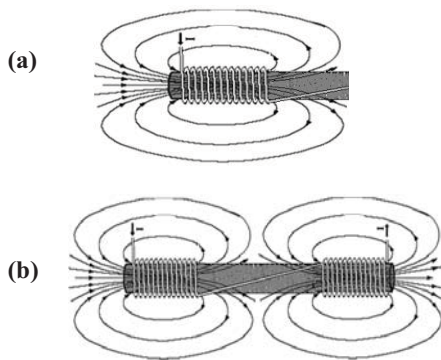
Gambar 8. Pengaruh jumlah lilitan terhadap Presipitasi CaCO₃ pada tegangan 12 volt, frekwensi 500 Hz, dan 1 kumparan.

Gambar 8 menunjukkan terjadi kenaikan persen presipitasi CaCO_3 dengan bertambahnya jumlah lilitan yang digunakan. Semakin besar jumlah lilitan yang digunakan maka akan semakin besar induksi medan elektromagnet yang diterima oleh air sadah dalam kumparan. Hal tersebut berdampak pada peningkatan keefektifan tumbukan antara ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} sehingga akan meningkatkan proses presipitasi CaCO_3 . Kajian mendalam tentang fenomena ini dapat ditinjau dari aspek distribusi garis gaya magnet pada selenoida dan efek gaya Lorentz pada partikel bermuatan yang melewati medan magnet.

Ketika ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} dalam larutan air sadah masuk ke dalam kumparan selenoida maka ion-ion tersebut akan mengalami gaya Lorentz F sebesar : $F = e \cdot V \times B$ dimana V adalah kecepatan gerak ion, dan B adalah fluks medan magnet. Efek gaya Lorentz dapat menyebabkan pergeseran ion/partikel bermuatan. Hasil simulasi yang dilakukan oleh Kozic (2003) menunjukkan terjadi pergeseran 0,2 – 10 nm untuk ion dan 0,2 nm – 2 μm untuk partikel, dimana harga tersebut memadai untuk menembus ketebalan dari electric double layer pada larutan jenuh CaCO_3 sebagai sarat terjadinya presipitasi ion/partikel bermuatan.

Selain itu, jumlah lilitan yang semakin banyak akan menghasilkan medan terpapar yang semakin luas. Sehingga menambah waktu kontak antara ion-ion dengan medan elektromagnet sehingga akan menambah efektif proses *treatment* yang dilakukan.

Jumlah kumparan (coil) adalah salah satu faktor yang berpengaruh terhadap presipitasi CaCO_3 . Gambar 10 menunjukkan pola distribusi garis gaya medan magnet untuk 1 kumparan dan 2 kumparan.



Gambar 10. Pola distribusi medan magnet pada (a) Konfigurasi 1 kumparan dan (b) Konfigurasi 2 kumparan.

Gambar 11 menunjukkan terjadi kenaikan persen presipitasi CaCO_3 dengan bertambahnya jumlah kumparan. Hal ini dapat dijelaskan dengan teori gradien medan magnet. Gradien medan magnet adalah daerah dimana terjadi perubahan kuat medan

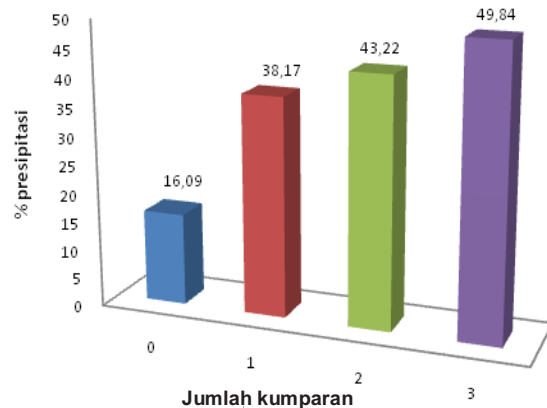
sebagai fungsi posisi. Jika suatu zat dengan sifat kemagnetan lemah (paramagnetik) melewati dengan gradien medan magnet, maka akan mengalami gaya tarik menarik magnetik antara partikel zat tersebut yang dapat dirumuskan pada persamaan (3) sebagai berikut (Iwasaki, 1993):

$$F_m = \left(\frac{\chi}{\mu_0} \right) B \left(\frac{dB}{dz} \right) \quad (3)$$

Dimana,

- F_m = Gaya tarik menarik magnetik (N)
- χ = Kemampuan kemagnetan suatu zat
- μ_0 = Permeabilitas ruang hampa = $4 \pi \cdot 10^{-7}$
- B = Besar kuat medan magnet (weber/m²)
- (dB/dz) = Gradien medan magnet pada arah z

Gambar 10 (a) menunjukkan pada pipa dengan satu kumparan, terdapat 2 daerah gradien medan magnet yaitu pada aliran masuk kumparan dan keluar kumparan, sedangkan pada pipa dengan dua kumparan (Gambar 10 (b)) terdapat empat daerah gradien medan magnet. Untuk pipa dengan 3 kumparan maka aliran fluida akan melewati 6 daerah gradien medan magnet.



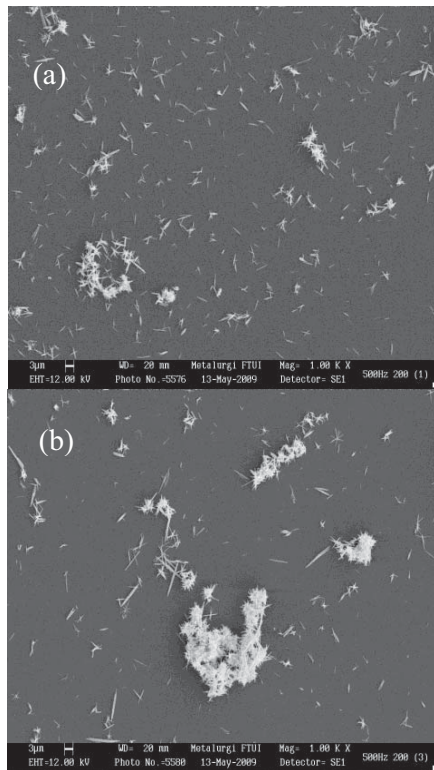
Gambar 11. Pengaruh Jumlah kumparan terhadap Presipitasi CaCO_3 pada frekwensi 500, tegangan 12 V, dan jumlah lilitan 150.

Munculnya gaya tarik magnet F_m pada daerah gradien medan magnet ini diduga bertanggungjawab terhadap meningkatnya presipitasi CaCO_3 yang terjadi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.

Gambar 12 (a) menunjukkan bahwa pada konfigurasi 1 kumparan keberadaan kristal aragonit cenderung menyebar sedangkan pada konfigurasi 3 kumparan (Gambar 12 (b)) kristal aragonit terlihat cenderung mengumpul pada titik tertentu membentuk suatu gugus yang lebih besar.

Partikel CaCO_3 bersifat paramagnetik, oleh sebab itu adanya gaya tarik menarik magnetik antara

partikel CaCO_3 yang terbentuk akan mendorong bergabungnya CaCO_3 membentuk gugus yang lebih besar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12 (b).



Gambar 12. Hasil SEM untuk (a) 1 kumparan dan (b) 2 kumparan pada Perbesaran Sebesar 1000 Kali.

Kesimpulan

Penelitian ini membuktikan bahwa medan elektromagnet berpengaruh terhadap meningkatnya jumlah presipitasi CaCO_3 dimana terjadi kenaikan presipitasi CaCO_3 hingga 347 % dibanding tanpa medan elektromagnet.

Presipitasi CaCO_3 optimum sebesar 55,52 % dicapai pada frekwensi 32000 Hz sedangkan peningkatan tegangan, jumlah lilitan, dan jumlah kumparan menyebabkan kenaikan presipitasi CaCO_3 yang terjadi.

Jenis kristal CaCO_3 yang terbentuk dibawah pengaruh medan elektromagnet berupa Kalsit, Aragonit, dan Vaterit, dimana jumlah kristal aragonit paling besar. Penambahan jumlah kumparan menyebabkan partikel CaCO_3 yang terbentuk saling bergabung membentuk gugus yang lebih besar.

Ucapan Terimakasih

Kami mengucapkan terimakasih kepada Osaka Gas Fondation of International Culture Exchange yang

telah mendanai riset ini pada periode tahun 2008 sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

Daftar pustaka

- Abdel-Aal, N., K, Satoh., K, Sawada. 2002. Study of the adhesion mechanism of CaCO_3 using a combined bulk chemistry/QCM technique. *Journal of Crystal Growth*, (245) : 87–100.
- Ben Amor, M., Zgolli, D., M, Tlili., Manzola, A S. 2004. Influence of water hardness, substrate nature and temperature on heterogeneous calcium carbonate nucleation. *Desalination*, (166) : 79-84.
- Cho, Young I., Chunfu Fan, Byung-Gap Choi.1997, International Communications in Heat and Mass Transfer 24; 757–770.
- Iwasaki, M., 1993., IEEE Transactions On Magnetics 29 , 6.
- Kobe, S., G, Draz'ic', A.C, Sarantopoulou. 2002. Nucleation and crystallization of CaCO_3 in applied magnetic fields. *Crystal Engineering*, (5) : 5243-253.
- Kozic, V., L.C, Lipus. 2003. Magnetic Water Treatment for a Less Tenacious Scale. *Journal of . Chemical. Inf. Computer Scince*, (43) : 1815-1819.
- Kney, A.D., S.A, Parsons. 2006. Spectrophotometer-based study of magnetic water treatment : Assessment of ionic vs surface mechanisms. *Water Research*, (40) : 517-524.
- Knez, S., Ciri Pohar. 2005. The magnetic field influence on the polymorph composition of CaCO_3 precipitated from carbonized aqueous solutions. *Journal of Colloid and Interface Science*, (281) : 377-388.
- Leonard, D., Tijing, Bock Choon Pak, Byung Joon Baek, Dong Hwan Lee, Young I. Cho.2007, International Communications in Heat and Mass Transfer Volume 34, Issue 6, , 673-681
- Saksono, N., Setijo, B., Elsa, K., Roekmijati, W. 2006. Pengaruh Medan Magnet pada Presipitasi CaCO_3 Untuk Pencegahan Pembentukan kerak. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia* vol 5 No.2