

Magnetisasi Air Sadah Untuk Pencegahan Pembentukan Kerak

Nelson Saksono

Departemen Teknik Kimia
Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia
Tlp. (021) 7863515 Fax. (021) 7863516
e-mail : nelson @che.ui.edu

Abstrak

Anti-scale Magnetic Treatment (AMT) adalah metode pengolahan air sadah dengan medan magnet untuk pencegahan pembentukan kerak (CaCO_3). Metode ini memiliki sejarah panjang yang bersifat kontroversi disebabkan mekanisme dan efektivitasnya belum terungkap dengan jelas. Hasil penelitian, hipotesis maupun penjelasan yang telah diberikan oleh para peneliti masih bersifat parsial dan belum memuaskan dalam menjawab fenomena apa yang sesungguhnya terjadi. Ada tiga mekanisme yang diusulkan yaitu mekanisme ion, mekanisme partikel dan efek gaya Lorentz. Dalam air sadah terdapat ion Ca^{2+} , CO_3^{2-} dan partikel CaCO_3 . Efek medan magnet terhadap ion CO_3^{2-} (mekanisme ion) menyebabkan terjadinya penguatan ion hidratnya sehingga menekan terjadinya presipitasi CaCO_3 , sedangkan magnetisasi partikel CaCO_3 (mekanisme partikel) mendorong terjadinya gaya tarik menarik antar partikel dan meningkatkan laju nukleasi. Mekanisme ion dan partikel ini ditunjukkan dengan baik menggunakan metode magnetisasi sistem statik dimana air berada dalam posisi diam (statik) terhadap medan magnet. Efek gaya Lorentz menyebabkan terjadinya pergeseran ion dan partikel dalam larutan yang bergerak dan dikenal sebagai fenomena magnetohidrodinamik yang menyebabkan meningkatnya nukleasi CaCO_3 . Gaya Lorentz terjadi bila ion dalam air sadah bergerak (dinamis) melalui medan magnet, untuk itu diperlukan metode magnetisasi sistem dinamis untuk mengamati fenomena ini. Mekanisme partikel dan efek gaya Lorentz dapat meningkatkan pembentukan partikel CaCO_3 sehingga menurunkan kandungan ion Ca^{2+} di larutan, sedangkan mekanisme ion dengan efek memori magnetiknya pada ion CO_3^{2-} dapat menekan pembentukan CaCO_3 . Penambahan proses pengendapan dan penyaringan setelah proses magnetisasi dapat meningkatkan efektivitas proses AMT.

Kata kunci : Pencegahan kerak, mekanisme perlakuan magnetik dan presipitasi kalsium karbonate

Abstract

Anti scale magnetic treatment is a hard water treatment method using magnetic field to prevent (CaCO_3) scale formation. This method has a long and controversial history due to its unclear result of its mechanism and effectiveness. The results of researches, hypothesis, or explanations given by researchers were still partial and didn't satisfy yet in answering the magnetic phenomenon. There were three mechanisms which were suggested: ion mechanism, particle mechanism and Lorentz force effect. Hard water contain Ca^{2+} cations, CO_3^{2-} anions, and CaCO_3 particles. Magnetic field effect on CO_3^{2-} (ion mechanism) modified hydration of ions which suppressed CaCO_3 precipitation, whereas magnetization CaCO_3 particle (particle mechanism) supported particles to attract to each other and increased nucleation rate. Both ion and particle mechanism are clearly showed by using static magnetization system, system where water were static to magnetic field. Lorentz force caused ion shift in solution and known as by the magnetohydrodynamic phenomenon that forced nucleation of CaCO_3 . Lorentz force acts on every ions in hard water when it's moving through applied magnetic field, therefore dynamic magnetization system was needed to investigate this phenomenon. Particle mechanism and Lorentz force effect could increase CaCO_3 particle formation, so that reduced concentration of Ca^{2+} ions in bulk solution, in the other hand, ion mechanisms with its memory effect on CO_3^{2-} could suppress CaCO_3 formation. Magnetization followed by deposition and filtration could increase effectiveness of AMT process.

Keywords: Scale prevention; Magnetic treatment mechanism and calcium carbonate precipitation

1 Pendahuluan

Pembentukan kerak (CaCO_3) oleh air sadah pada sistem perpipaan di industri maupun rumah tangga menimbulkan banyak permasalahan teknis dan ekonomis. Hal ini disebabkan scale (kerak) dapat menutupi (menyumbat) air yang mengalir dalam pipa dan sekaligus menghambat proses perpindahan panas pada peralatan penukar panas.

Saat ini pengolahan air 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. Selain itu investasinya yang cukup besar menyebabkan proses-proses kimiawi tersebut hanya cocok untuk industri yang memerlukan air olahan dalam jumlah besar.

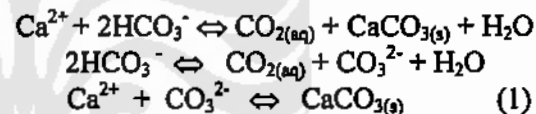
Anti-Scale Magnetic Treatment (AMT) adalah proses fisik pengolahan air sadah dengan medan magnet untuk pencegahan pembentukan kerak. Meskipun Teknik AMT ini sudah lama dikenal dan dikomersialisasikan namun hingga saat ini nuansa kontroversinya masih sangat kental disebabkan belum jelasnya mekanisme dan efektivitas alat. Beberapa produsen alat AMT menyatakan bahwa alat tersebut dapat menurunkan jumlah kerak yang terbentuk, meningkatkan pembentukan kerak lunak (soft scale) yang mudah lepas, mengurangi kerak yang sudah terbentuk, dan sifat pencegahan kerak pada air yang dimagnetisasi dapat bertahan lama (efek memori magnetik) [1]. Penelitian ilmiah masih mempertanyakan substansi dan kebenaran pernyataan tersebut karena faktor reproduibilitas yang rendah, saling kontradiktif dan tidak adanya penjelasan ilmiah mengenai fenomena yang terjadi [2]. Hal tersebut mendorong para peneliti seperti Kronenberg dan David Hasson untuk mulai melakukan penelitian ilmiah pada tahun 1985 [3, 4].

Penelitian yang meliputi berbagai variabel proses dan kondisi operasi telah

dilakukan hingga saat ini, namun hasil penelitian, hipotesis maupun penjelasan yang telah diberikan oleh para peneliti masih bersifat parsial dan belum memuaskan dalam menjawab fenomena apa yang sesungguhnya terjadi. Untuk itu diperlukan kajian komprehensif dengan menghimpun berbagai hasil penelitian ilmiah guna mendapatkan penjelasan tentang mekanisme dan efektivitas proses AMT.

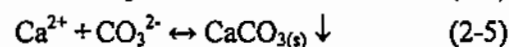
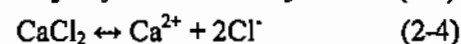
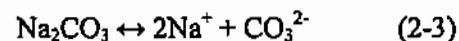
2. Reaksi Kesetimbangan Pembentukan Partikel CaCO_3

Air tanah banyak mengandung mineral mineral terlarut seperti Ca^{2+} dan Mg^{2+} yang menyebabkan kesadahan pada air. Selain itu terdapat juga kation bikarbonat dan gas terlarut CO_2 . Dengan naiknya pH akibat lepasnya CO_2 ke fasa gas, maka akan terjadi suatu reaksi kesetimbangan pembentuk kerak CaCO_3 dengan reaksi sebagai berikut:



Model kesetimbangan diatas berjalan lambat, dikenal sebagai sistem larutan calco carbonic yang banyak digunakan oleh beberapa peneliti [5,6,7] untuk memodelkan fenomena pembentukan kerak pada air sadah.

Model larutan lain yang digunakan oleh banyak peneliti [8, 9, 10] dalam mengamati presipitasi CaCO_3 adalah dengan mencampurkan larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 dengan reaksi sebagai berikut :



Proses pembentukan CaCO_3 ini berjalan spontan terutama pada fasa larutan.

Pembentukan CaCO_3 dapat terjadi di fasa larutan (homogeneous precipitation) dan di fasa permukaan (heterogeneous precipitation). Ben Amor [11] mendapatkan bahwa pada kesadahan rendah ($\text{Ca}^{2+} < 80$ ppm) pembentukan CaCO_3 lebih

banyak terjadi di permukaan, sedangkan kenaikan suhu lebih mendorong terjadinya presipitasi ke fasa larutan .

3. Mekanisme Pembentukan Kristal CaCO_3

Mekanisme pembentukan kristal CaCO_3 dalam larutan merupakan proses yang kompleks, dimulai dengan nukleasi partikel CaCO_3 yg sangat kecil membentuk CaCO_3 amorphous, $\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (ikaite) dan $\text{CaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (monohydrate). CaCO_3 hidrat ini bersifat meta-stabil dan mudah terputus lagi menjadi ion-ion hidratnya. Selanjutnya CaCO_3 hidrat akan terdehidrasi menjadi CaCO_3 padat yang stabil [12]. CaCO_3 amorf yang bersifat tidak stabil akan bertransformasi (rekristalisasi) membentuk kristal vaterit yang berbentuk bola dan kalsit yang berbentuk kotak. Kristal vaterit bersifat metastabil dan akan bertransformasi lebih lanjut menjadi kalsit terutama pada suhu 20 – 30 °C. Untuk suhu diatas 60 °C akan terbentuk kristal aragonit yang bersifat mudah lepas dari dinding pipa (soft scale) [13]. Kristal Kalsit merupakan jenis kerak yang sangat stabil menempel di dinding pipa (hard scale) dan banyak terdapat pada berbagai peralatan pipa dan alat penukar panas.

Pembentukan kristal CaCO_3 di permukaan menunjukkan mekanisme berbeda. Abdel [13] menggunakan larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 mendapatkan bahwa pada 90 menit pertama presipitasi hampir semuanya adalah Kalsit dan setelah itu mulai tampak sejumlah kecil kristal vaterite (kurang dari 3 %) pada permukaan. Gabrielli [14] dengan menggunakan larutan calcocarbonic mendapatkan bahwa vaterit merupakan jenis kristal yang banyak terbentuk pada fasa permukaan untuk waktu deposit kurang dari 7 menit, sedangkan untuk waktu yang lebih lama (25 menit) struktur kalsit merupakan jenis yang paling banyak terbentuk. Hal ini menunjukkan adanya suatu perbedaan yang signifikan antara mekanisme pembentukan kristal dilarutan dan di permukaan dimana presipitasi permukaan akan jauh lebih

dominan membentuk kristal kalsit dibanding presipitasi fasa larutan.

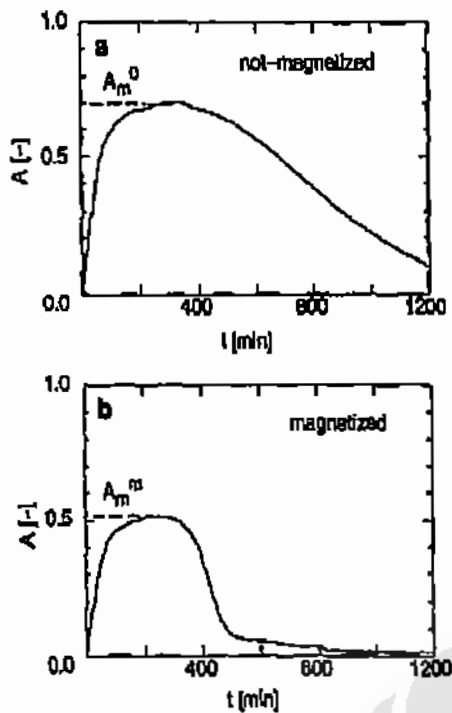
4. Metode Magnetisasi dan Mekanisme Pembentukan CaCO_3 Dalam Medan Magnet.

Penelitian dibidang ini dapat dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu sistem statik dan sistem dinamis. Sistem statik adalah posisi larutan yang dimagnetisasi dalam keadaan diam (statik) , sedangkan magnetisasi pada larutan bergerak / mengalir disebut sistem dinamis. Larutan yang di magnetisasi dapat berupa larutan Na_2CO_3 saja (metode ion) atau campuran larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 (metode partikel) .

Berbagai konsep tentang mekanisme pembentukan CaCO_3 dalam medan magnet telah dilaporkan oleh beberapa peneliti dan dapat dikelompokkan dalam 3 mekanisme yaitu mekanisme ion, mekanisme partikel dan efek gaya lorentz. Berikut penjelasannya.

4.1. Mekanisme ion

Air sadah dapat mengandung ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} serta partikel CaCO_3 . Magnetisasi ion CO_3^{2-} dapat memperkuat ikatan antara ion dengan molekul air disekitarnya sehingga dapat menekan pembentukan CaCO_3 . Higashitani [8] melakukan percobaan dengan sistem statik dimana larutan Na_2CO_3 dimagnetisasi dalam keadaan diam pada kuat medan 4500 Gauss selama 10 menit (metode ion). Selanjutnya larutan Na_2CO_3 dicampur dengan larutan CaCl_2 untuk diamati proses presipitasinya menggunakan spektrofotometer UV pada panjang gelombang 350 nm. Hasil pengamatan menunjukkan terjadi penurunan laju nukleasi CaCO_3 pada sampel termagnetisasi (Gambar 1). Hal ini menunjukkan bahwa magnetisasi ion CO_3^{2-} dalam larutan Na_2CO_3 dapat menekan pembentukan CaCO_3 di fasa larutan.

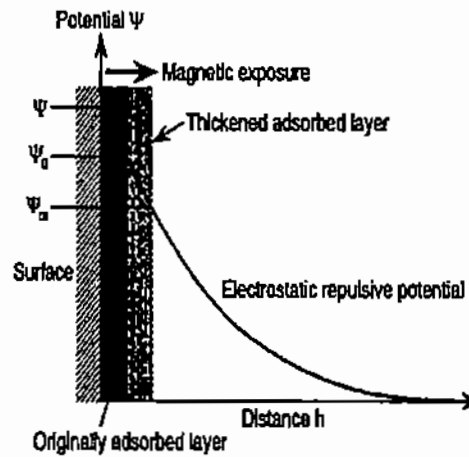


Gambar 1.

Absorbansi Campuran Larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 (a) Sampel Na_2CO_3 non-Magnetisasi, (b) Sampel Na_2CO_3 Termagnetisasi.

Hasil ini juga diperkuat oleh beberapa peneliti lainnya [15, 16], meskipun Kney [17] dalam laporannya mempertanyakan reproduisibilitas data tersebut. Efek magnetisasi terhadap larutan Na_2CO_3 ternyata dapat bertahan dalam waktu yang cukup lama hingga 120 jam, meskipun medan magnet sudah tidak ada. Fenomena tersebut dikenal dengan efek memori magnetik. Terjadi penurunan jumlah partikel CaCO_3 dan peningkatan ukuran kristal CaCO_3 di permukaan pada sampel termagnetisasi. Higashitani memberikan hipotesis bahwa telah terjadi perubahan molekul ion hidrat yang bersifat meta-stabil menjadi lebih stabil (structured) dengan adanya pengaruh medan magnet [8].

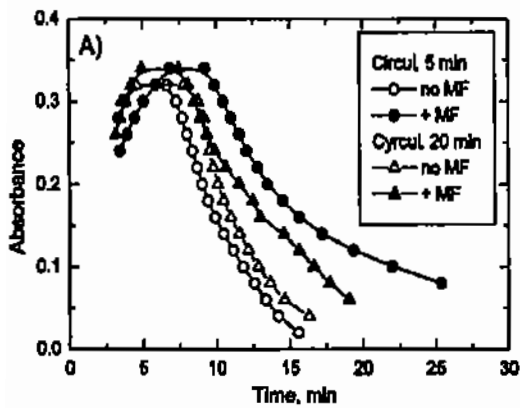
Hasil penelitian Higashitani selanjutnya [18] berhasil membuktikan adanya penebalan adsorbed layer sebagai akibat adsorpsi molekul ion hidrat tersebut pada permukaan seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2.
Pengaruh Paparan Medan Magnet Terhadap Adsorbed Layer [17]

Dalam laporan yang sama Higashitani mendapatkan bahwa makin tinggi energi Gibbs dari hidrasi ion, maka efek magnetisasi semakin kecil. Itu sebabnya dalam percobaan Higashitani sebelumnya hanya larutan Na_2CO_3 yang dimagnetisasi, sedangkan jika larutan CaCl_2 yang dimagnetisasi tidak menghasilkan dampak pada proses presipitasinya. Hal ini diduga disebabkan energi Gibbs hidrasi anion CO_3^{2-} lebih rendah dibanding kation Ca^{2+} .

Chibowski [10] dengan menggunakan model larutan yang sama melakukan percobaan dengan sistem dinamis dimana larutan Na_2CO_3 dialirkan melewati medan magnet dengan kuat medan 1000 Gauss dan kecepatan 0.85 m/s. Hasil yang didapat menunjukkan tidak terjadi perbedaan puncak absorbansi yang signifikan antara sampel yang dimagnetisasi dengan sampel non-magnetisasi (Gambar 3). Hal ini dapat terjadi karena aliran sudah berada pada daerah turbulen ($Re = 10625$), sehingga penguatan / penebalan struktur ion hidrat CO_3^{2-} yang terbentuk oleh medan magnet menjadi rusak dan mengakibatkan efek magnetisasi menjadi berkurang bahkan hilang. Untuk itu perlu dijaga agar aliran berada pada daerah laminar. Kemungkinan lain adalah terlalu rendahnya kuat medan yang diberikan.



Gambar 3. Absorbansi Campuran Larutan Na₂CO₃ dan CaCl₂ dengan Sistem Dinamis [9].

Oshitami [19] mendapatkan bahwa efek maksimum magnetisasi berupa penebalan adsorbed layer dapat dipercepat waktunya dengan menciptakan suatu perubahan kuat medan (magnetic pulse) yang dikenai pada larutan yang diam. Hasil pengujian menggunakan larutan KCl menunjukkan terjadi penurunan waktu magnetisasi efektif sebesar 30 kali untuk frekwensi 30 Hz dibanding tanpa magnetic pulse. Hal ini dapat menjadi penjelasan mengapa magnetisasi sistem dinamik lebih efektif dibanding sistem statik.

4.2. Mekanisme Partikel

Menurut teori klasik Derjaguin-Landau-Verwey-Overbeek (teori DLVO) ada dua gaya yang bekerja pada partikel halus dalam suatu sistem koloid yaitu gaya tolak menolak Coulomb (V_c) dan gaya tarik menarik London-vanderwaals (V_{vdw}). Wang [20] berhasil membuktikan bahwa ada gaya ketiga (V_m) yang menyebabkan gaya tarik menarik antar partikel dengan kemagnetan lemah pada system koloid jika diberikan induksi medan magnet yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$V_m = - \frac{8\pi a^6 \chi^2 B^2}{9\mu_0(H_0 + 2a)^3} \quad (3)$$

Dimana :

- V_m = Gaya tarik menarik antar partikel
- a = Radius partikel
- B = Induksi Medan Magnet

- χ = Subsebtibility magnetic volum
- H₀ = Jarak antar permukaan partikel
- μ₀ = Permeabilitas ruang hampa

Ukuran partikel (a) akan sangat menentukan interaksi magnetik antar partikel , makin besar ukuran partikel, akan semakin signifikan pengaruh medan magnet terhadap proses koagulasi. Hasil percobaan Wang [20] menggunakan partikel hematit menunjukkan peningkatan koagulasi hematite yang signifikan dengan adanya induksi medan magnet .

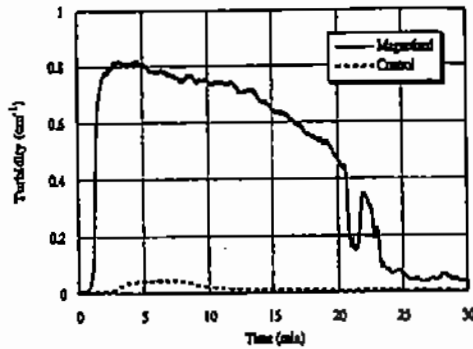
Partikel CaCO₃ merupakan mineral dengan kemagnetan lemah (χ = -38,2 x10⁻⁶) yang terkandung dalam air sadah. Wang [9] mengamati perilaku nukleasi dan presipitasi CaCO₃ pada pencampuran larutan Na₂CO₃ dan CaCl₂. larutan Na₂CO₃ dan CaCl₂ dicampur dalam sebuah kuvet kaca, diaduk selama 1 menit agar terbentuk partikel CaCO₃. Sampel kemudian dimagnetisasi dengan sistem statik pada kuat medan 2000 Gauss (metode partikel) dan diamati proses presipitasi CaCO₃-nya dengan mengukur turbiditasnya sebagai fungsi waktu.

Gambar 4 menunjukkan bahwa larutan yang dimagnetisasi jauh lebih keruh dibanding tanpa magnetisasi. Hal ini menunjukkan terjadi peningkatan laju nukleasi dan presipitasi yang dilanjutkan dengan koagulasi partikel CaCO₃ yang terbentuk. Pencampuran Larutan CaCl₂ dengan Na₂CO₃ berjalan cepat membentuk partikel CaCO₃ Sehingga saat dimagnetisasi , sudah cukup banyak ion Ca²⁺ dan CO₃²⁻ membentuk partikel CaCO₃. Oleh sebab itu percobaan Wang [9] dapat dianggap mengikuti mekanisme partikel. Hal yang sama juga didapat oleh Jens Skytte pada larutan Kalsium fosfat, dimana terjadi peningkatan laju nukleasi dan presipitasi Kalsium fosfat dengan adanya medan magnet selama presitasi [21]. Lundager [22] menyimpulkan terdapat peningkatan laju transfer proton dari HCO₃⁻ ke molekul air dengan reaksi sebagai berikut :



Hal tersebut menyebabkan terjadinya peningkatan laju nukleasi dan kristalisasi.

Hasil uji foto permukaan menunjukkan sampel yang dimagnetisasi memiliki jumlah partikel CaCO_3 yang lebih banyak dengan ukuran yang lebih kecil dibanding sampel non magnet. Hal ini menunjukkan magnetisasi mempercepat proses nukleasi dan presipitasi CaCO_3 [9, 23].

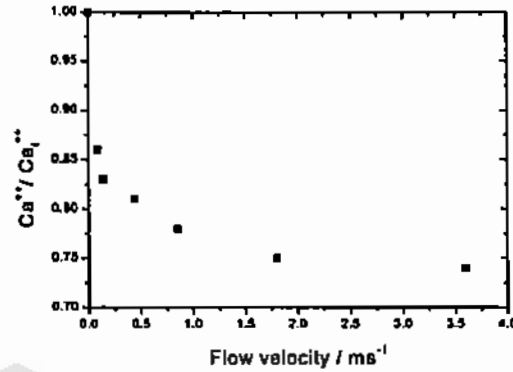


Gambar 4. Pengaruh Magnetisasi Terhadap Proses Nukleasi dan Presipitasi Partikel CaCO_3 Melalui Pengamatan Turbidity Sebagai Fungsi Waktu [9]

4.3. Efek Gaya Lorentz

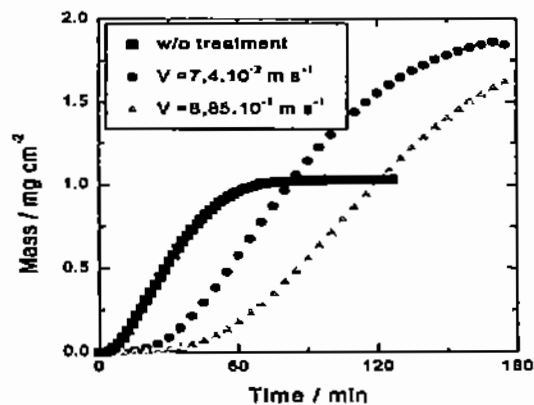
Jika suatu ion bermuatan seperti ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} bergerak melewati medan magnet maka akan mengalami gaya lorentz F sebesar : $F = e.V \times B$. Efek gaya lorentz dapat menyebabkan pergeseran ion / partikel bermuatan. Hasil simulasi yang dilakukan oleh Kozic [24] menunjukkan pergeseran 0,2 – 10 nm untuk ion dan 0,2 nm – 2 μm untuk partikel, dimana harga tersebut memadai untuk menembus ketebalan dari electric double layer sebagai sarat terjadinya presipitasi ion / partikel bermuatan. Pergeseran ini dapat berpengaruh terhadap proses nukleasi dan presipitasi. Argumentasi ini dapat diterima terutama untuk kasus larutan dengan konsentrasi jauh diatas kondisi lewat jenuh. Gabrielli [5] melakukan percobaan magnetisasi larutan CaCO_3 dengan aliran sirkulasi (sistem dinamis) dan mengamati konsentrasi ion Ca sebelum (Ca^{++}) dan sesudah magnetisasi (Ca^{++}) pada berbagai kecepatan fluida menggunakan alat ukur ion selektif Ca. Gambar 5 menunjukkan terjadi penurunan ion Ca dengan meningkatnya kecepatan fluida, bahkan

pada kecepatan yang sangat rendah (0.074 m/s) telah terjadi penurunan ion Ca sebanyak 25 %. Hasil ini menunjukkan bahwa gaya lorentz berpengaruh terhadap proses nukleasi CaCO_3 saat proses magnetisasi.



Gambar 5. Rasio Penurunan ion Ca^{2+} Dilarutan Pada Proses Magnetisasi Pada Berbagai Kecepatan Larutan [5].

Gabrielli [5] juga mengamati proses deposit CaCO_3 setelah magnetisasi pada wadah yang diam (statik). Gambar 6 dan tabel 1 menunjukkan terjadi peningkatan waktu nukleasi (t_n) dari 5 menit tanpa magnetisasi menjadi 30 menit dengan magnetisasi pada laju alir $V = 0.074$ m/s. Waktu pembentukan kerak (t_c) dan total deposit CaCO_3 juga meningkat dari 75 menit dan 1 gr/cm² tanpa magnetisasi pada sampel non magnet menjadi 180 menit dan 1.75 gr/cm² dengan magnetisasi.



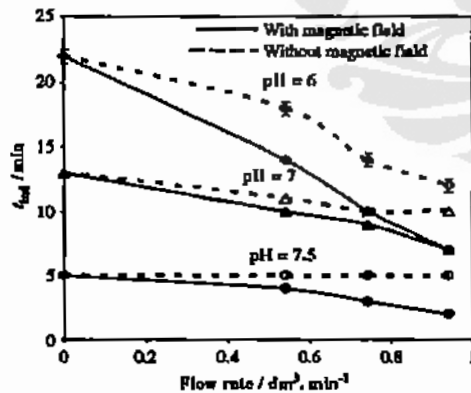
Gambar 6. Jumlah Deposit CaCO_3 Pada Permukaan Sesudah Magnetisasi Sebagai Fungsi Waktu Presipitasi [5]

Tabel 1.
Waktu Nukleasi (t_n) dan Waktu Pembentukan Kerak (t_s), Pada Berbagai Laju Alir [5]

	Tanpa magnet	Dengan Magnet	
		V = 0.074 m/s	V = 0.885 m/s
t_s (min)	75	180	225
t_n (min)	5	30	50

Waktu nukleasi (t_n) adalah waktu yang dibutuhkan saat pertama kalinya deposit CaCO_3 terdeteksi dan waktu pembentukan kerak (t_s) adalah waktu dimana pembentukan deposit CaCO_3 masih terjadi. Terjadinya peningkatan deposit dengan makin bertambahnya kecepatan alir larutan.

Pada Penelitian lainnya, Fathi menggunakan metode yang sama seperti yang dilakukan Gabrielli dengan menggunakan titrasi EDTA tidak mendapatkan adanya penurunan ion Ca selama 30 menit proses magnetisasi [25]. Efek magnetisasi baru teramati pada proses presipitasi (sesudah proses magnetisasi) dengan mengamati waktu induksi/nukleasi. Waktu induksi adalah waktu dimana konsentrasi ion Ca^{2+} dilarutan mulai turun.

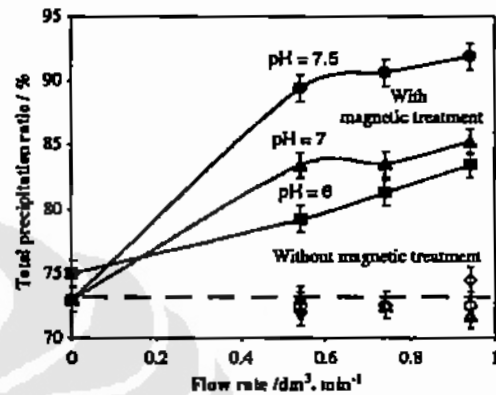


Gambar 7.
Waktu Induksi t_{ind} vs Laju Alir Pada pH Awal yang Berbeda [25].

Gambar 7 menunjukkan adanya penurunan waktu induksi dengan bertambahnya laju alir. Magnetisasi mempercepat waktu induksi terutama pada pH rendah dan laju alir tinggi. Penurunan waktu induksi ini menunjukkan magnetisasi larutan dengan sistem dinamis mendorong

terjadinya peningkatan laju nukleasi CaCO_3 .

Presipitasi total CaCO_3 dapat diukur dengan melihat penurunan jumlah ion Ca^{2+} dilarutan. Alimi mendapatkan bahwa proses magnetisasi meningkatkan presipitasi total CaCO_3 . Gambar 8 menunjukkan semakin tinggi pH awal dan kecepatan larutan maka akan semakin tinggi pula presipitasi total CaCO_3 .



Gambar 8.
Rasio Presipitasi Total CaCO_3 Pada Berbagai Laju Alir dan pH Awal Larutan untuk Waktu Presipitasi 90 menit dan Konsentrasi ion Ca^{2+} Mula mula 200 ppm [25].

Kenaikan presipitasi total pada proses magnetisasi (Gambar 8) lebih disebabkan adanya kenaikan presipitasi di fasa larutan, sedang dipermukaan yang terjadi adalah penurunan presipitasi.

Fathi [25] menduga telah terjadi perubahan sifat dari spesies yang ada dilarutan saat proses magnetisasi (reaksi pra-nukleasi) dan baru berdampak pada proses sesudah magnetisasi yang ditandai adanya peningkatan laju nukleasi. Reaksi pra-nukleasi tersebut digambarkan sebagai proses pendekatan pasangan ion-ion (ionic pairs micellization) yang akan memfasilitasi terjadinya nukleasi sesudah magnetisasi.

Busch [2] menduga bahwa fenomena magnetohydrodynamic (MHD) yang muncul karena adanya gaya lorentz pada spesies bermuatan mendorong terjadinya perpindahan lokal (ion shift) dalam cairan yang dapat berkontribusi pada

meningkatnya penggabungan antara ion-ion atau partikel partikel colloid. Gaya lorentz ini juga dapat menyebabkan efek interfacial berupa gangguan pada double layer ion-ion dan partikel [1]).

Efek medan magnet juga dapat dijelaskan dengan adanya perubahan hidrasi dari ion-ion atau permukaan padat akibat medan magnet. Lundager [21] menyatakan bahwa medan magnet dapat meningkatkan transfer proton dari ion HCO_3^- ke air sebagai akibat adanya perubahan spin proton karena adanya medan magnet. Hal ini akan meningkatkan pembentukan ion CO_3^{2-} dilarutan dan pada akhirnya akan mendorong terjadinya presipitasi.

5. Pembentukan Kristal CaCO_3 Dibawah Pengaruh Medan Magnet.

Pembuktian bahwa magnetisasi mendorong terbentuknya kerak lunak berupa kristal aragonit merupakan topik penelitian yang hangat dikalangan para peneliti AMT, dan penjelasan fenomena sebenarnya masih belum terjawab. Para Peneliti yang menggunakan Sampel larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 dengan metode ion [8, 16] menunjukkan adanya kecenderungan pembentukan kristal aragonit pada fasa larutan, meskipun tidak signifikan.

Coey [26] menggunakan sampel air tanah dan sistem dinamik dengan kuat medan $B \approx 0,1$ T dan gradien $\nabla B \approx 10$ T/m melaporkan terjadinya peningkatan komposisi kristal Aragonit rata rata sebesar 23 % pada permukaan dan efek magnetisasi bertahan hingga 200 jam. Hal serupa juga dilaporkan oleh Knez [6] dengan menggunakan sistem dinamik pada larutan Calcocarbonic dengan kuat medan 1,12 T mendapatkan peningkatan Aragonite sebesar 71 % pada larutan. Knez mendapatkan bahwa jumlah aragonit yang terbentuk dipengaruhi oleh kuat medan dan lama magnetisasi. Knez mengusulkan dua penjelasan mengenai fenomena ini : (1) adanya fenomena magnetohidrodinamik yaitu efek gaya lorentz terhadap spesies bermuatan yang melewati medan magnet dan (2) adanya modifikasi hydration shell

ion CO_3^{2-} seperti yang diusulkan Higashitani. Sementara Kobe dengan sistem yang sama menjelaskan bahwa peningkatan Aragonit terjadi karena adanya pembentukan aragonite pada tahap awal nukleasi dan adanya pola aliran turbulen [7].

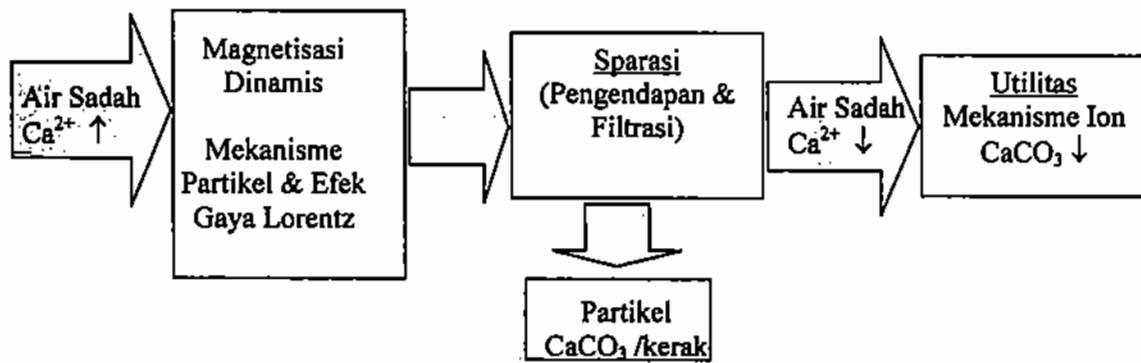
6. Efektivitas dan Skema Alat AMT

Berdasarkan pembahasan teori maupun hasil penelitian yang ada, dapat disimpulkan bahwa ada 3 mekanisme penting yang terjadi pada air sadah yang termagnetisasi, yaitu mekanisme ion, mekanisme partikel dan efek gaya lorentz. Mekanisme Partikel dan efek gaya lorentz akan berdampak mendorong laju presipitasi CaCO_3 pada larutan saat magnetisasi dan sesudah magnetisasi ditandai dengan turunnya kandungan ion Ca^{2+} dilarutan.

Mekanisme ion berdampak pada penekanan laju presipitasi CaCO_3 setelah proses magnetisasi ditandai dengan penurunan jumlah kerak yang terbentuk. Gambar 9 menunjukkan suatu skema proses AMT berdasarkan mekanisme tersebut diatas.

Efektifitas dari mekanisme partikel dan efek gaya lorentz adalah dilihat dari kemampuannya menekan jumlah ion Ca^{2+} saat magnetisasi dan sesudah magnetisasi dengan mendorong laju presipitasi partikel CaCO_3 . Selanjutnya partikel CaCO_3 yang terbentuk dipisahkan dulu dari air sadah sebelum digunakan (Gambar 9).

Mekanisme ion pada air sadah terjadi setelah proses pengendapan dan penyaringan dimana air sadah yang telah diolah dengan efek memori magnetiknya diharapkan memiliki sifat lebih sedikit membentuk kerak karena sifat ion CO_3^{2-} yang termagnetisasi lebih sulit terpresipitasi membentuk CaCO_3 . Selain itu jenis kerak yang terbentuk lebih bersifat kerak lunak (aragonit) yang mudah dibersihkan. Efektivitas dari mekanisme ion ini adalah seberapa besar jumlah kerak dapat ditekan dan bagaimana agar kerak yang terbentuk lebih bersifat kerak lunak.



Gambar 9.
Skema Proses AMT

Untuk meningkatkan efektifitas magnetisasi maka perlu diperhatikan beberapa hal sebagai berikut :

- waktu magnetisasi yang cukup yaitu dengan melakukan sirkulasi umpan.
- Kuat medan dan kecepatan alir cairan yang optimal
- Proses sparasi kerak yang efektif dengan mengatur waktu pengendapan air sadah yang optimal

7 Kesimpulan

Hasil kajian dalam makalah ini tentang berbagai aspek berkaitan dengan mekanisme dan efektivitas proses AMT berhasil dijawab. Mekanisme partikel dan efek gaya lorentz akan mendorong terjadinya nukleasi dan presipitasi CaCO_3 saat magnetisasi dan sesudah magnetisasi, sedangkan Efek mekanisme ion akan menekan laju nukleasi dan presipitasi CaCO_3 setelah proses magnetisasi. Adanya efek yang saling berlawanan antara mekanisme partikel dan efek gaya lorentz disatu sisi dengan mekanisme ion disisi lain dapat dikombinasikan dengan penambahan proses separasi sebelum air sadah olahan digunakan.

Parameter-parameter penting yang harus diperhatikan untuk mendapatkan kinerja alat AMT yang efektif adalah lama magnetisasi, kuat medan dan kecepatan alir air sadah, serta waktu pengendapan air sadah setelah magnetisasi. Untuk itu

diperlukan suatu penelitian aplikatif dan komprehensif terhadap proses AMT ini berdasarkan parameter-parameter penting diatas.

Daftar Acuan

- [1]. Baker, J.S.; Judd, S.J, Review paper : Magnetic Amelioration of Scale Formation; *Water Res.* 30 (1996) 30.
- [2]. Busch, K.W. ; Busch, M.A. ; Darling, R.E.; Maggard, S.; Kubala, S.W., Laboratory studies on magnetic water treatment and their relationship to a possible mechanism for scale reduction, *Trans. IChemE* 75 (1997) 105.
- [3]. Kronenberg, K.J., Experimental Evidence for Effects of Magnetic Field in Moving Water; *IEEE Trans On Mag*, VOL. MAG-21, NO. 5, September 1985.
- [4]. Hasson, D.; Bremson, Effectiveness of Magnetic Water Treatment in Suppressing CaCO_3 Scale Deposition, *Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev.* 24 (1985), 588-592
- [5]. Gabrielli, C.; Jaouhari, R.; Maurin, G.; Keddani, M., MAGNETIC WATER TREATMENT FOR SCALE PREVENTION; *Water Res.* 35 (2001) 3249.
- [6]. Sergej Knez, S.; Ciri Pohar; The magnetic field influence on the polymorph composition of CaCO_3 precipitated from carbonized aqueous

- solutions, *Journal of Colloid and Interface Science* 281 (2005) 377–388
- [7]. Kobe, S.; Draz'ic G. ; McGuinness, P.J.; Medena, T.E., Control over nanocrystallization in turbulent flow in the presence of magnetic fields ; *Materials Science and Engineering C* 23 (2003) 811– 815
- [8]. Higashitani, K.; Kage, A.; Katamura, S.; Imai, K.; Hatade, S. Effects of Magnetic Field on the Formation CaCO₃ Particles. *J. Colloid Interface Sci.* 156 (1993), 90-95.
- [9]. Wang, Y.; Babchin, A.J.; Cherny, L.T; Chow, R.S.; Sawatzky, R.P., Rapid Onset Of Calcium Carbonate Crystallization Under The Influence Of Magnetic field; *Water Res.* 31 (1997) 346.
- [10]. Chibowski, E.; Lucyna Holysz, L.; Szczes, A.; Chibowski, M., Precipitation of calcium carbonate from magnetically treated sodium carbonate solution, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 225 (2003)
- [11]. Ben Amor, M.; Zgolli, D.; Tlili, M.M.; Manzola, A.S., Influence of water hardness, substrate nature and temperature on heterogeneous calcium carbonate nucleation ; *Desalination* 166 (2004) 79-84
- [12]. Gal, J.Y., Fovet, Y., Gache, N., 2002. Mechanisms of scale formation and carbon dioxide partial pressure influence. Part I: elaboration of an experimental method and a scaling model. *Water Res.* 36, 755.
- [13]. Abdel-Aal, N.; Satoh, K.; Sawada, K., Study of the adhesion mechanism of CaCO₃ using a combined bulk chemistry/QCM technique, *Journal of Crystal Growth* 245 (2002) 87–100
- [14]. Gabrielli, C.; Maurin, G.; Poindessous, G.; Rosset, R., Nucleation and growth of calcium carbonate by an electrochemical scaling process, *Journal of Crystal Growth* 200 (1999) p;236-250
- [15]. Barret, R.A.; Parsons, S.A., The influence of Mangnetic Fields on Calcium Carbonate Precipitation; *Water Res.* 32 (1998) 609
- [16]. Chibowski, E.; Lucyna Holysz, L.; Szcze, A, Adhesion of in situ precipitated calcium carbonate in the presence and absence of magnetic field in quiescent conditions on different solid surfaces, *Water Research* 37 (2003) 4685–4692
- [17]. Kney, A.D.; Parsons, S.A., Spectrophotometer-based study of magnetic water treatment : Assessment of ionic vs. surface mechanisms, *Water Research* 40 (2006) 517-524
- [18]. Higashitani, K.; Oshitani, J., Magnetic Effects on Thickness of Adsorbed Layer in Aqueous Solutions Evaluated Directly by Atomic Force Microscope, *Journal of Colloid and interface science* 204, (1998), 363–368
- [19]. Oshitani, J.; Uehra, R.; Highashitani, K., Magnetic Effects on Electrolyte Solutions in Pulse and Alternating Fields, *Colloid Interface Sci.* 209 (1999) 374.
- [20]. Wang, Y.; Pugh, R.J.; Forssber, E., The influence of particle surface force on the coagulation of weakly magnetic mineral ultrafines in a magnetic field, *Colloid and Surface A*, (1994) 117-133
- [21]. Jens Skytte S , rensen, Madsen H.e.l., The influence of magnetism on precipitation of calcium phosphate, *Journal of Crystal Growth* 216 (2000) 399-406
- [22]. LundagerMadsen, H.E., Crystallization of calcium carbonate in magnetic field in ordinary and heavy water, *Journal of Crystal Growth* 267 (2004) 251–255
- [23]. K. V. Saban, T. Jini, and G. Varghese, Impact of magnetic field on the nucleation and morphology of calcium carbonate crystals *Cryst. Res. Technol.* (2005) 40, No. 8, 748 – 751
- [24]. Kozic, V.; Lipus, L. C., Magnetic Water Treatment for a Less

- Tenacious Scale; *J. Chem. Inf. Comput. Sci.* 43, (2003), 1815-1819
- [25]. Fathi, A., Tlili M, Gabrelli, C., Maurin, G., Ben Amor, M, Effect of magnetic water treatment on homogeneous precipitation of calcium carbonate. *Water Res.* (2006) 40, 1941 -1950.
- [26]. Coey, J.M.D.; Cass, S., Magnetic water treatment , *J. Magn. Magn. Mater.* 209 (1999) 374

