

Pengaruh Medan Magnet Terhadap Konduktivitas Larutan Na_2CO_3 Dan CaCl_2 Serta Presipitasi Dan Morfologi Partikel CaCO_3 Pada Sistem Fluida Statis

Nelson Saksono, M. H. Mubarak, Roekmijati Widaningroem S. dan Setijo Bismo

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

Abstrak

Pembentukan deposit kerak CaCO_3 oleh air sadah pada sistem perpipaan di industri maupun rumah tangga menimbulkan banyak permasalahan. Pengolahan air sadah menggunakan medan magnet untuk pencegahan kerak merupakan suatu metode alternatif yang mulai banyak diteliti orang saat ini. Penelitian ini lebih difokuskan pada pengaruh medan magnet terhadap proses pembentukan CaCO_3 guna mendapatkan pengaruh maupun efektivitas proses dalam mencegah terjadinya CaCO_3 . Dalam penelitian, ini larutan Na_2CO_3 pada keadaan diam (sistem fluida statis) sebelum dicampur CaCl_2 dimagnetisasi menggunakan magnet permanen dengan kuat medan 5200 Gauss. Waktu magnetisasi divariasikan untuk melihat pengaruhnya pada proses presipitasi CaCO_3 . Kandungan CaCO_3 pada larutan dan deposit diukur dengan metode titrasi kompleksometri EDTA. Uji konduktivitas larutan dilakukan untuk melihat sifat hidrat dari ion-ion. Uji SEM (Scanning Electron Microscope) dan XRD (X-ray diffraction) dilakukan untuk melihat morfologi kristal CaCO_3 . Medan magnet menyebabkan penurunan laju presipitasi CaCO_3 di awal presipitasi (periode nukleasi) dan mencapai titik optimum pada magnetisasi selama 30 menit. Medan magnet hanya menekan laju nukleasi tapi tidak menggeser kesetimbangan reaksinya. Medan magnet menaikkan harga konduktivitas larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 yang berarti telah terjadi penurunan diameter hidrat ion dan penguatan ikatan. Hasil uji SEM dari sampel termagnetisasi menunjukkan jumlah kristal yang lebih sedikit dengan ukuran yang lebih besar dibandingkan dengan sampel tanpa magnetisasi. Sedangkan hasil uji XRD menunjukkan bahwa kalsit mendominasi jenis kristal yang terbentuk pada kedua jenis sampel tersebut. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa medan magnet efektif dalam mengontrol jumlah kerak yang terbentuk dengan menekan laju presipitasi CaCO_3 di deposit maupun di larutan.

Kata kunci : Pencegahan kerak, magnetisasi larutan karbonat dan presipitasi CaCO_3 .

Abstract

CaCO_3 scale formation on pipe walls and heat exchange equipments in industrial or domestic water processes is a serious problem. A great number of experimental researches on the prevention of the CaCO_3 precipitation process by magnetic field have been carried out. The efforts to understand the effect of the magnetic field on the CaCO_3 precipitation are still being developed. In this research, Na_2CO_3 solution was magnetized by 5200 gauss permanent magnet before mixed with CaCl_2 in quiescent condition (static fluid system). Magnetization time was varied to examine its influences to magnetization process. CaCO_3 content at solution and on deposit was measured by titration method of EDTA complexometry. Conductivity test was conducted to find out hydrate ion bonding. SEM (Scanning Electron Microscope) and XRD (X-ray diffraction) test were conducted to see the morphology of CaCO_3 crystal deposit. The results showed that magnetization decreases CaCO_3 precipitation rate at initial precipitation (nucleation period) and optimum process reaches for 30 minutes magnetization. The magnetic field depresses precipitation rate but has no effect on the equilibrium of the reaction. Magnetic field increases the conductivities of Na_2CO_3 and CaCl_2 solution hence reducing its ion hydrate diameter and reinforcing ion hydrate bonding. SEM and XRD test results shows that CaCO_3 crystal formed was predominated by calcite type and magnetization depressed the number of CaCO_3 crystals and enlarge the crystal size. These results show that magnetization is effective in controlling the CaCO_3 deposit by suppressing CaCO_3 precipitation on deposit and in solution.

Keywords : Scale prevention, magnetic carbonate solution and CaCO_3 precipitation.

1. Pendahuluan

Pembentukan deposit kerak CaCO_3 oleh air sadah pada sistem perpipaan di industri maupun rumah tangga menimbulkan banyak permasalahan teknis dan ekonomis. Hal ini disebabkan kerak (*scale*) dapat menyumbat air yang mengalir dalam pipa dan sekaligus menghambat proses perpindahan panas pada peralatan penukar panas. Selain itu air sadah juga akan menyebabkan berkurangnya efektifitas proses pencucian menggunakan sabun atau deterjen.

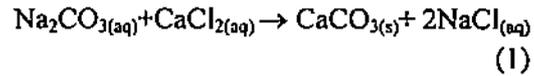
Saat ini pengolahan air sadah dan pencegahan pembentukan kerak umumnya dilakukan secara kimiawi yaitu dengan resin penukar ion dan penambahan inhibitor kerak. Metode secara kimiawi ini dapat mengubah sifat kimia larutan sehingga tidak cukup aman untuk penggunaan pada rumah tangga maupun industri makanan. Selain itu investasinya yang cukup besar mengakibatkan proses-proses kimiawi tersebut hanya cocok untuk industri yang memerlukan air olahan dalam jumlah besar [1].

Anti scale magnetic treatment (AMT), merupakan metode pengolahan air sadah dengan menggunakan medan magnet yang mempunyai sejarah panjang dan kontroversial. Publikasi ilmiah dibidang AMT ini hingga saat ini masih terus dilaporkan [2]. Hal ini disebabkan masih banyak aspek-aspek teoretis maupun aplikasi yang belum terjawab dengan memuaskan. Pengaruh medan magnet terhadap pembentukan CaCO_3 hingga efektifitas proses AMT masih menjadi perdebatan yang hangat oleh para peneliti, dimana hasil-hasil yang dilaporkan masih bersifat kontradiktif [3].

2. Tinjauan Teori

Efektivitas AMT akan dapat diketahui dengan memahami terlebih dahulu pengaruh medan magnet terhadap proses presipitasi CaCO_3 . Model larutan air sadah yang banyak digunakan oleh para peneliti sampai saat ini, untuk melihat proses pembentukan partikel CaCO_3 , adalah campuran larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 .

Persamaan reaksinya dapat ditulis pada Persaman (1) :



Higashitani [4] dalam percobaannya mendapatkan bahwa magnetisasi ion CO_3^{2-} pada larutan Na_2CO_3 yang dilanjutkan dengan pencampuran dengan larutan CaCl_2 mampu menahan pembentukan CaCO_3 di fasa larutan.

2.1. Efek hidrat ion

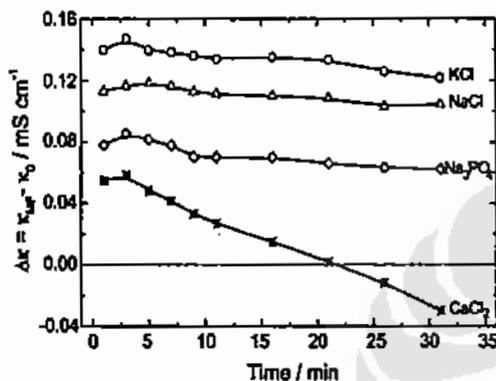
Dalam air sadah terdapat ion-ion dan partikel hasil presipitasi ion-ion. Keberadaan ion-ion seperti Ca^{2+} dan CO_3^{2-} dalam air sadah menyebabkan ion-ion tersebut akan terhidrasi oleh molekul air membentuk ion hidrat. Semakin tinggi energi hidrasinya (ΔG hydration), maka semakin kuat molekul air terikat di sekeliling ion tersebut [5]. Proses pembentukan kerak (presipitasi CaCO_3) akan sangat ditentukan oleh kestabilan ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} dalam larutan air sadah. Magnetisasi diduga akan memperkuat energi hidrasi ion terutama untuk ion dengan energi hidrasi yang rendah (ion meta-stabil) seperti CO_3^{2-} . Magnetisasi ion CO_3^{2-} dalam larutan dapat menstabilkan atau mencegah ion tersebut dari proses presipitasi dengan ion Ca^{2+} untuk membentuk kerak [4, 6]. Efek hidrat ion juga memiliki sifat memori, dimana ion CO_3^{2-} yg sudah termagnetisasi akan tetap memiliki sifat kestabilan yang tinggi meskipun sudah tidak dikenai medan magnet lagi [4].

Efek hidrat ion adalah salah satu efek penting yang akan diamati dalam penelitian ini dengan perlakuan magnetisasi larutan Na_2CO_3 sebelum dicampur dengan CaCl_2 untuk diamati proses presipitasinya.

2.2. Konduktivitas larutan elektrolit.

Holysz [7] telah melakukan pengamatan pengaruh medan magnet terhadap konduktivitas dari berbagai larutan elektrolit menggunakan sistem fluida statik. Gambar 1 menunjukkan bahwa medan magnet akan menaikkan konduktivitas larutan.

Konduktivitas suatu larutan elektrolit dapat menunjukkan mobilitas dari ion-ion hidrat yang ada dalam larutan tersebut. Kenaikan konduktivitas suatu larutan elektrolit pada konsentrasi, tekanan dan suhu yang konstan menunjukkan adanya penurunan diameter ion hidrat yang disertai dengan penguatan ikatan ion hidratnya [7]. Semakin tinggi kenaikan konduktivitas ($\Delta\kappa$), menunjukkan semakin besar penguatan hidrat ion yang terjadi akibat medan magnet.



Gambar 1.

Kurva Kenaikan Konduktivitas ($\Delta\kappa$) Fungsi Waktu dari Larutan Elektrolit KCl, NaCl, Na_3PO_4 dan CaCl_2 Sebagai Pengaruh Medan Magnet pada Konsentrasi 0.1 M dan Suhu 20 °C [8].

Pengujian konduktivitas dari larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 dibawah pengaruh medan magnet akan memberikan informasi dan pemahaman yang lebih baik terhadap efek hidrat ion khususnya dalam menekan laju presipitasi CaCO_3 .

2.3. Morfologi kristal CaCO_3

Jenis kristal kerak CaCO_3 yang terbentuk merupakan bagian penting dari efektivitas proses AMT. Kalsit merupakan jenis kristal yang paling banyak dijumpai pada kerak CaCO_3 . Beberapa hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan jumlah kristal Aragonit di fasa larutan pada air sadah yang termagnetisasi [8, 9]. Kristal aragonit adalah jenis kristal yang bersifat lebih mudah lepas dari dinding (*soft scale*) dibanding kalsit. Studi tentang pengaruh medan magnet terhadap pembentukan kerak khususnya pada deposit

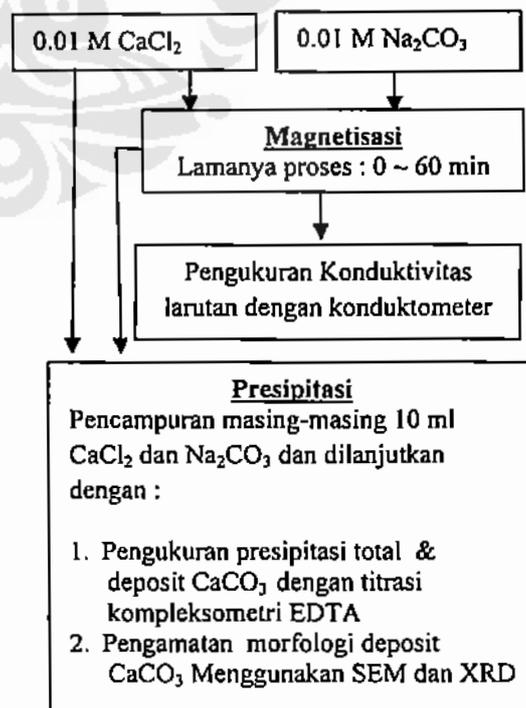
kerak akan melengkapi studi komprehensif pengaruh medan magnet dalam proses presipitasi CaCO_3 .

3. Metode Penelitian

Larutan CaCl_2 dan Na_2CO_3 dibuat dengan melarutkan padatan CaCl_2 dan Na_2CO_3 dengan air de-min (resistivity $\approx 18 \text{ M}\Omega$) untuk menghasilkan larutan masing-masing dengan konsentrasi 0,01 M.

Medan magnet statik dihasilkan dari sepasang magnet permanen berbasis NdFeB yang diletakkan pada rangka almunium dengan jarak antar kutubnya 15 mm. Kuat medan di tengah kedua kutub tersebut dihasilkan sebesar 5200 Gauss, diukur menggunakan alat ukur Gaussmeter (Hirst GM 04). Dimensi setiap keping magnet adalah 100 mm x 15 mm x 20 mm.

Presipitasi CaCO_3 diamati pada tabung reaksi dengan mencampur larutan Na_2CO_3 yang telah dimagnetisasi dengan larutan CaCl_2 . Setelah proses presipitasi, larutan dalam tabung reaksi dikeluarkan untuk diukur kandungan ion Ca^{2+} dengan titrasi EDTA.



Gambar 2.
Prosedur Percobaan

Deposit yang tertinggal pada dinding tabung reaksi dilarutkan dengan HCl 0,1 M dan dititrasi dengan EDTA untuk mengukur jumlah depositnya (akurasi \approx 0.05 mg sebagai CaCO_3).

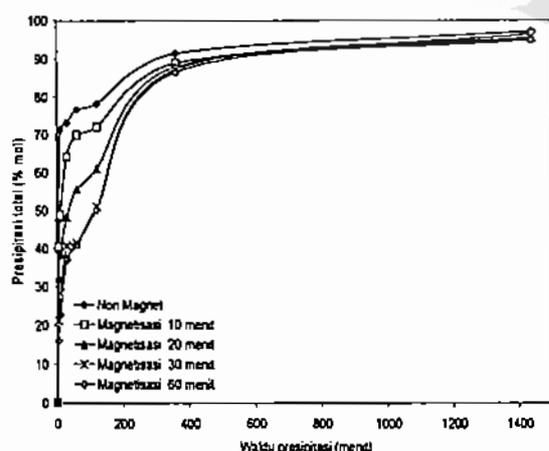
Sampel pengamatan deposit CaCO_3 dibuat dengan mencelupkan kaca preparat ke dalam larutan sampel selama 120 menit sehingga terbentuk deposit CaCO_3 di permukaannya. Objek pada kaca preparat akan dianalisis menggunakan SEM (Scanning Electron Microscope) dan XRD (X-ray diffraction). Skema Prosedur percobaan dapat dilihat pada Gambar 2.

4. Hasil dan Pembahasan

Presipitasi CaCO_3 dapat terjadi di fasa larutan (homogenous precipitation) maupun pada dinding tabung (heterogenous precipitation) yang disebut kerak atau deposit. Presipitasi CaCO_3 keseluruhan baik yang terjadi di larutan maupun pada dinding tabung disebut presipitasi total.

4.1 Presipitasi Total CaCO_3

Gambar 3 menunjukkan persen mol presipitasi total CaCO_3 selama 24 jam (1440 menit). Terlihat bahwa efek medan magnet menekan laju presipitasi CaCO_3 pada 5 menit pertama presipitasi dan selanjutnya presipitasi menuju satu harga kesetimbangan.



Gambar 3.

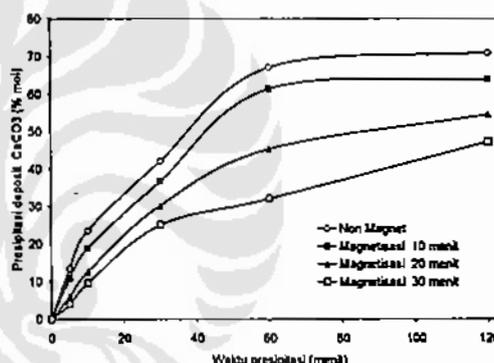
Kurva Deposit CaCO_3 pada Berbagai Waktu Magnetisasi dan Presipitasi untuk Kuat Medan 5200 Gauss dan Suhu 28 °C.

Hal ini menunjukkan medan magnet tidak mengubah kesetimbangan reaksi. Presipitasi CaCO_3 pada tahap awal merupakan proses pembentukan inti (nukleasi) yang kurang stabil dan selanjutnya akan membentuk kristal yang lebih stabil.

Terjadi penurunan laju nukleasi dengan bertambahnya waktu magnetisasi seperti yang terlihat pada Gambar 3 dan waktu optimum yang dapat dicapai adalah untuk 30 menit magnetisasi.

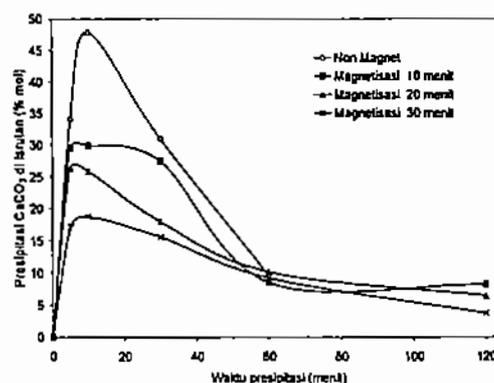
4.2. Deposit CaCO_3

Gambar 4 menunjukkan penurunan laju pembentukan deposit dengan bertambahnya waktu magnetisasi. Kecenderungan ini sesuai dengan penurunan laju presipitasi total pada Gambar 3.



Gambar 4.

Kurva Deposit CaCO_3 pada Berbagai Waktu Magnetisasi dan Presipitasi untuk Kuat Medan 5200 Gauss dan Suhu 28 °C.



Gambar 5

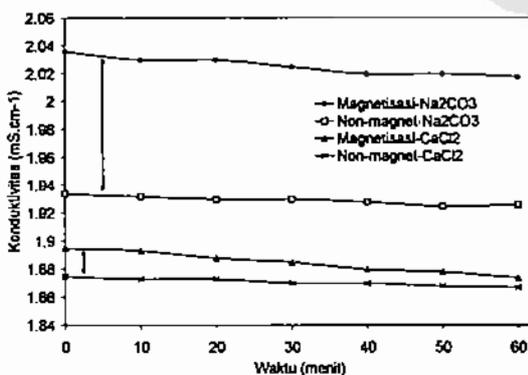
Kurva Presipitasi CaCO_3 di Larutan: (a) Presipitasi Selama 1440 Menit; untuk Kuat Medan 5200 Gauss dan Suhu 28 °C.

Gambar 5 menunjukkan terjadi peningkatan presipitasi CaCO_3 di larutan yang cepat pada 10 menit pertama (proses nukleasi) dan selanjutnya terjadi penurunan jumlah partikel hingga 120 menit presipitasi karena mengendap dan beraglomerasi dengan CaCO_3 yang terdeposit. Medan magnet menyebabkan turunnya laju presipitasi CaCO_3 di larutan.

Hasil ini membuktikan bahwa medan magnet menekan laju presipitasi CaCO_3 baik deposit maupun dilarutan.

4.3. Konduktivitas larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 pada medan magnet

Hasil pengujian konduktivitas menunjukkan terjadi peningkatan harga konduktivitas pada larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 termagnetisasi (Gambar 6). Higashitani [4] menduga tertahannya proses nukleasi CaCO_3 disebabkan adanya penguatan (*structured*) hidrat di sekitar ion yang termagnetisasi dan percobaan ini berhasil membuktikan hipotesis tersebut. Gambar 6 menunjukkan kenaikan konduktivitas pada Na_2CO_3 yang lebih besar dibanding dengan pada CaCl_2 . Hal ini menjadi penjelasan, mengapa efek magnetisasi lebih terlihat pada larutan Na_2CO_3 dibandingkan dengan pada larutan CaCl_2 dalam menekan dan atau menghambat presipitasi CaCO_3 [4].



Gambar 6

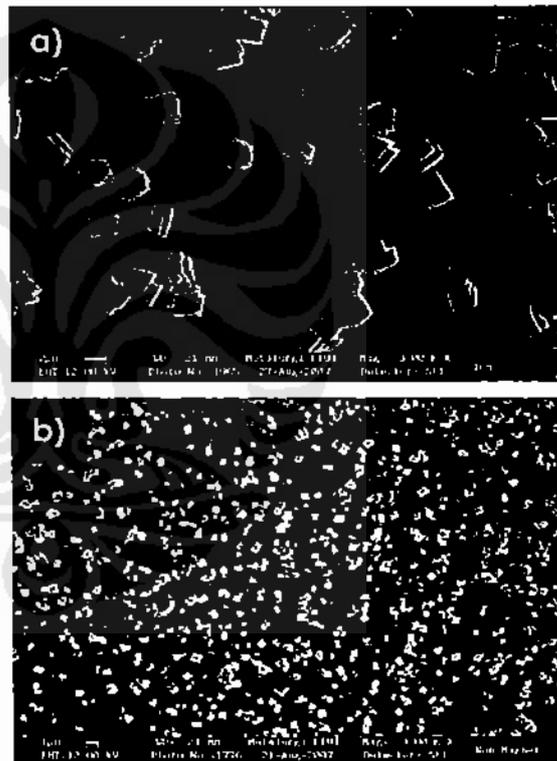
Konduktivitas Larutan 0,01 M Na_2CO_3 dan CaCO_3 Termagnetisasi dan Tanpa Magnetisasi pada Suhu 28 °C dan Waktu Magnetisasi 30 Menit.

Konduktivitas larutan termagnetisasi relatif stabil selama 1 jam pengukuran

meskipun sudah tidak ada medan magnet. Hal ini menunjukkan adanya *magnetic memory effect* pada larutan termagnetisasi. Kenaikan konduktivitas pada larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 pada penelitian ini sesuai dengan hasil pengamatan yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya [8].

4.4. Morfologi Partikel CaCO_3

Kristal CaCO_3 mempunyai 3 bentuk kristal yang berbeda, yaitu: kalsit, aragonit, dan vaterit. Kalsit berupa kubus padat, vaterit berbentuk seperti bunga (*flower-like*), sedangkan aragonit berbentuk seperti kumpulan jarum [9].

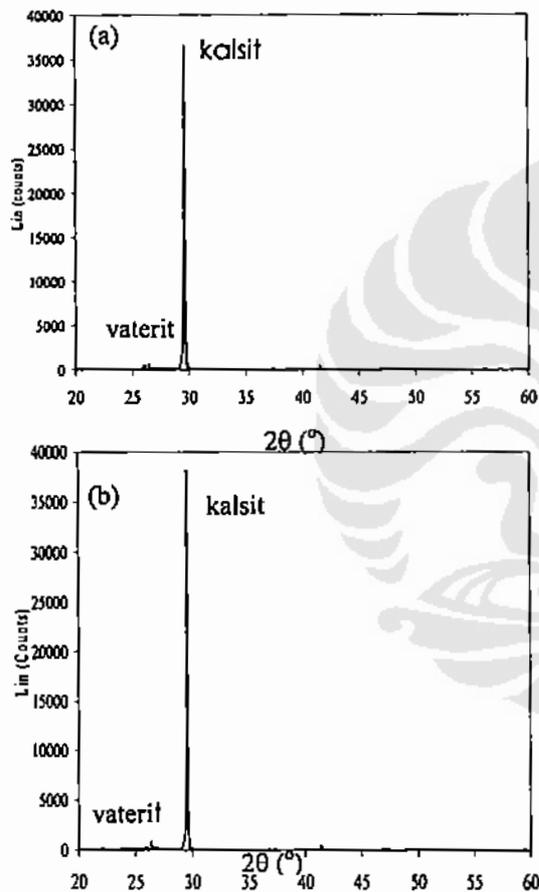


Gambar 7.
Hasil SEM Partikel CaCO_3 (a). Sampel Magnetisasi (b). Sampel Non-Magnetisasi. Perbesaran 3000 x.

Gambar 7. secara umum menunjukkan kristal yang terbentuk adalah kalsit dan ukuran kristal CaCO_3 untuk sampel termagnetisasi lebih besar dibanding sampel non-magnetisasi. Selain itu jumlah kristal sampel non-magnetisasi jauh lebih

besar dibanding sampel magnetisasi. Hasil uji SEM ini memperkuat kesimpulan dari uji presipitasi yaitu terjadi penurunan laju nukleasi CaCO_3 akibat medan magnet.

Hasil analisis struktur kristal deposit dengan alat XRD pada Gambar 8 menunjukkan hanya ada satu puncak dominan yang muncul pada sudut $2\theta = 29,53^\circ$ yang merupakan sudut pembentukan kristal kalsit. Selain itu juga, dapat diamati adanya sejumlah kecil kristal vaterit pada sudut $2\theta = 26,41^\circ$.



Gambar 8
Analisis XRD Deposit Kristal CaCO_3 pada 120 Menit Presipitasi: (a) Sampel Non-Magnetik, (b) Sampel Magnetik

Hasil analisis XRD memperkuat hasil uji SEM yang menunjukkan bahwa medan magnet mempengaruhi ukuran dan jumlah kristal tapi tidak mempengaruhi jenis dan komposisi kristal.

5. Kesimpulan

Penelitian ini membuktikan adanya penurunan laju nukleasi CaCO_3 yang sebanding dengan lamanya waktu magnetisasi dimana waktu optimum dicapai pada 30 menit magnetisasi.

Magnetisasi hanya menekan proses nukleasi CaCO_3 namun tidak menggeser kesetimbangan reaksi presipitasi CaCO_3 .

Penurunan laju nukleasi menyebabkan jumlah kristal yang terbentuk lebih sedikit dengan ukuran kristal yang lebih besar.

Medan magnet mengakibatkan kenaikan harga konduktivitas larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 . Hal ini berarti bahwa telah terjadi penurunan diameter hidrat ion dan menyebabkan penguatan ikatan hidrat ionnya.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa proses magnetisasi dapat mengendalikan pembentukan kerak CaCO_3 dengan menekan laju presipitasi CaCO_3 .

Daftar Acuan

- [1]. Kozic, V., L.C, Lipus. Magnetic Water Treatment for a Less Tenacious Scale. *J. Chem. Inf. Comput. Sci.* 43, (2003), 1815-1819
- [2]. Saksono, N., Magnetisasi Air sadah Untuk Pencegahan Pembentukan Kerak. *Jurnal Teknologi Edisi No.4 Tahun XX*, (2006).
- [3]. Chibowski, E., Lucyna Holysz., Aleksandra Szczes. 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, (2003), 4685-4692.
- [4]. Higashitani, K., A, Kage., S, Katamura., K Imai., S, Hatade S., Effects of Magnetic Field on the Formation CaCO_3 Particles. *Journal Of Colloid Interface Science*, 156 (1993), 90-95.
- [5]. Marcus, Y. Review: A simple empirical model describing the thermodynamics of hydration of ions of ewidely varying

- charges sizes, and shapes. *Biophysical Chemistry* 51 (1994), 111-127.
- [6]. Higashitani, K., J, Oshitani. 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.
- [7]. Holysz, L., A, Szezes., E, Chibowski. Effect of magnetic fields on water and electrolyte solution. *J.Colloid Interface Sci* 316 (2007), 2065-2070.
- [8]. S, Kobe., G, Draz'ic., P J McGuinness., T, Medena. Control over nano crystalization in turbulent flow in the presence of magnetic fields. *Materials Science and Engineering* 5 (2003), 811- 815.
- [9]. Coey, J.M., S.D, Cass. Magnetic Water Treatment. *J. Magn. Magn. Mater.* 209 (1999) 374-378.

