



EFEK MEDAN MAGNET TERHADAP KONDUKTIVITAS LARUTAN Na_2CO_3 DAN PRESIPITASI CaCO_3 PADA SISTEM SIRLUKASI FLUIDA DINAMIK

Nelson Saksono*, Setijo Bismo*, Roekmijati Widaningroem Soemantojo*,
dan Tri Sutanti Budikania^ψ

*Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Kampus UI Depok

E-mail: nelson@che.ui.edu

^ψAkademi Kimia Analisis Bogor, Jl Pangeran Sogiri 283, Tanah Baru- Bogor

ABSTRAK

Air sadah dengan kandungan ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} yang tinggi menyebabkan terbentuknya deposit kerak CaCO_3 pada sistem perpipaan yang dapat menghambat aliran dan perpindahan panas. Pengolahan air sadah menggunakan medan magnet untuk pencegahan kerak merupakan suatu metode alternatif yang mulai banyak diteliti orang saat ini. Penelitian ini difokuskan pada pengaruh medan magnet terhadap presipitasi CaCO_3 dari larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 guna mendapatkan pengaruh maupun efektivitas proses magnetisasi dalam mendorong terbentuknya CaCO_3 . Larutan Na_2CO_3 dialirkan melewati medan magnet (sistem sirkulasi fluida dinamik) dan dilakukan pengukuran konduktivitasnya. Larutan Na_2CO_3 yang sudah termagnetisasi selanjutnya dicampur dengan larutan CaCl_2 untuk diamati presipitasi CaCO_3 -nya. Kuat medan, waktu magnetisasi dan kecepatan aliran divariasikan untuk melihat pengaruhnya pada proses presipitasi CaCO_3 . Kandungan ion Ca^{2+} pada larutan diukur dengan metode titrasi kompleksometri EDTA dan uji konduktivitas larutan diukur dengan alat konduktometer. Terjadi penurunan konduktivitas larutan CaCO_3 akibat medan magnet dan proses sirkulasi. Hal ini menunjukkan terjadi pelemahan hidrat ion pada larutan Na_2CO_3 akibat proses magnetisasi dan sirkulasi. Hasil pengamatan menunjukkan pengaruh medan magnet dalam meningkatkan presipitasi CaCO_3 bertambah dengan bertambahnya kecepatan alir, panjang magnet dan waktu magnetisasi, sementara kenaikan konsentrasi sampel menurunkan efek medan magnet. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa medan magnet efektif dalam mengontrol jumlah kerak yang terbentuk dengan mendorong laju presipitasi CaCO_3 .

Kata Kunci: Magnetisasi larutan karbonat, presipitasi CaCO_3 .

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.

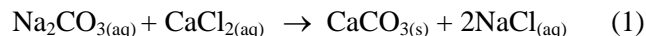
Saat ini pengolahan air sadah dan pencegahan pembentukan kerak umumnya dilakukan secara kimiawi seperti resin penukar ion dan penambahan inhibitor kerak. Metode kimiawi ini dapat mengubah sifat kimia larutan sehingga tidak cukup aman untuk digunakan pada rumah tangga dan industri makanan. Selain itu investasinya yang cukup besar mengakibatkan proses-

proses tersebut hanya cocok untuk industri yang memerlukan air olahan dalam jumlah besar (Kozic *et al.*, 2003).

Anti scale magnetic treatment (AMT), merupakan metode pengolahan air sadah dengan menggunakan medan magnet yang mempunyai sejarah panjang dan kontroversial. Publikasi ilmiah dibidang AMT hingga saat ini masih terus dilaporkan (Saksono, 2006). 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 (Chibowski, *et al.*, 2003).

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 untuk melihat proses pembentukan partikel CaCO_3 , adalah campuran larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 . Persamaan reaksinya seperti terlihat pada persamaan (1) :



Higashitani (1993) dalam percobaannya mendapatkan magnetisasi larutan Na_2CO_3 dengan sistem fluida statik mampu menahan pembentukan CaCO_3 di fasa larutan. Magnetisasi larutan Na_2CO_3 dengan sistem fluida dinamik perlu dilakukan mengingat aplikasi alat AMT dilakukan pada sistem fluida yang mengalir (dinamik).

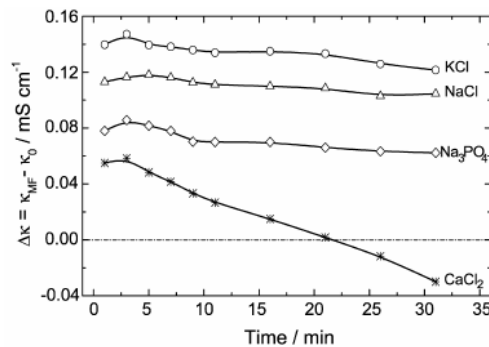
2.1 Efek hidrat ion

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 (Marcus, 1994). 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 (Higashitani *et al.*, 1993; 1998). Efek hidrat ion adalah salah satu efek penting yang akan diamati dalam penelitian ini melalui perlakuan magnetisasi larutan Na_2CO_3 dengan sistem sirkulasi (fluida dinamik) sebelum dicampur dengan CaCl_2 untuk diamati proses presipitasinya.

2.2 Konduktivitas larutan elektrolit.

Holysz (2003) telah melakukan pengamatan pengaruh medan magnet terhadap konduktivitas dari berbagai larutan elektrolit menggunakan sistem fluida statik seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.

Konduktivitas suatu larutan elektrolit dapat menunjukkan mobilitas dari ion-ion hidrat yang ada dalam larutan. Kenaikan konduktivitas suatu larutan elektrolit pada konsentrasi, tekanan dan suhu yang konstan menunjukkan adanya penurunan diameter ion hidrat disertai dengan penguatan ikatan ion hidratnya. 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, Na₃PO₄ dan CaCl₂ sebagai pengaruh medan magnet pada konsentrasi 0.1 M dan suhu 20 °C (Holysz *et al.*, 2007).

Pengujian konduktivitas dari larutan Na₂CO₃ dan CaCl₂ dibawah pengaruh medan magnet dengan sistem fluida dinamik akan memberikan informasi dan pemahaman yang lebih baik terhadap efek hidrat ion dan presipitasi CaCO₃.

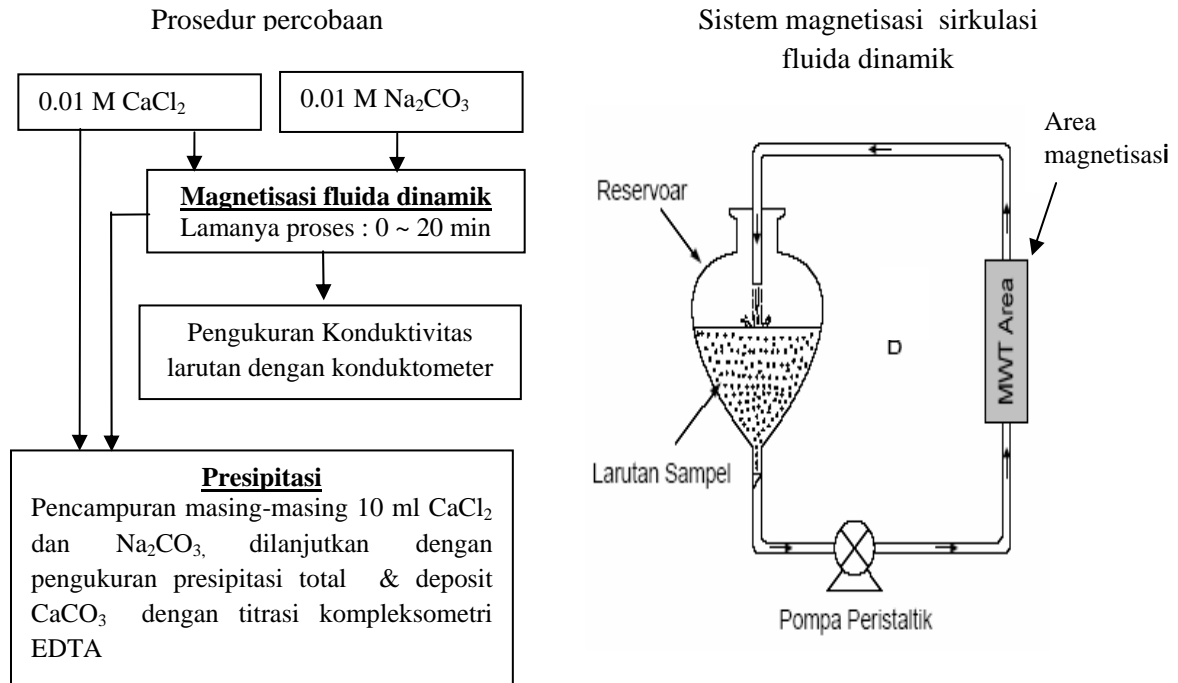
3. METODE PENELITIAN

Larutan CaCl₂ dan Na₂CO₃ dibuat dengan melarutkan sejumlah padatan CaCl₂ dan Na₂CO₃ dengan air de-min (resistivity \simeq 18 M Ω) untuk menghasilkan larutan masing-masing dengan konsentrasi 0,01 M.

Medan magnet statik dihasilkan dari 7 pasang magnet permanen berbasis NdFeB yang diletakkan secara inversi pada selang silikon yang dialiri larutan Na₂CO₃. Kuat medan yang dihasilkan di tengah kedua kutub sebesar 5200 Gauss, diukur menggunakan alat ukur Gaussmeter (Hirst GM 04). Dimensi setiap keping magnet adalah 50 mm x 15 mm x 20 mm.

Presipitasi CaCO₃ diamati pada tabung reaksi dengan mencampur larutan Na₂CO₃ yang telah dimagnetisasi dengan larutan CaCl₂. Setelah proses presipitasi, larutan dalam tabung reaksi dikeluarkan untuk diukur kandungan ion Ca²⁺ dengan titrasi kompleksometri. Sebagai perbandingan juga dilakukan pengamatan konduktivitas larutan Na₂CO₃ dan CaCl₂ tanpa magnetisasi dengan sistem fluida statik dan dinamik. Gambar 2 menunjukkan prosedur

percobaan dan skema proses sistem magnetisasi sirkulasi fluida dinamik untuk larutan sampel Na_2CO_3 dan CaCl_2 .



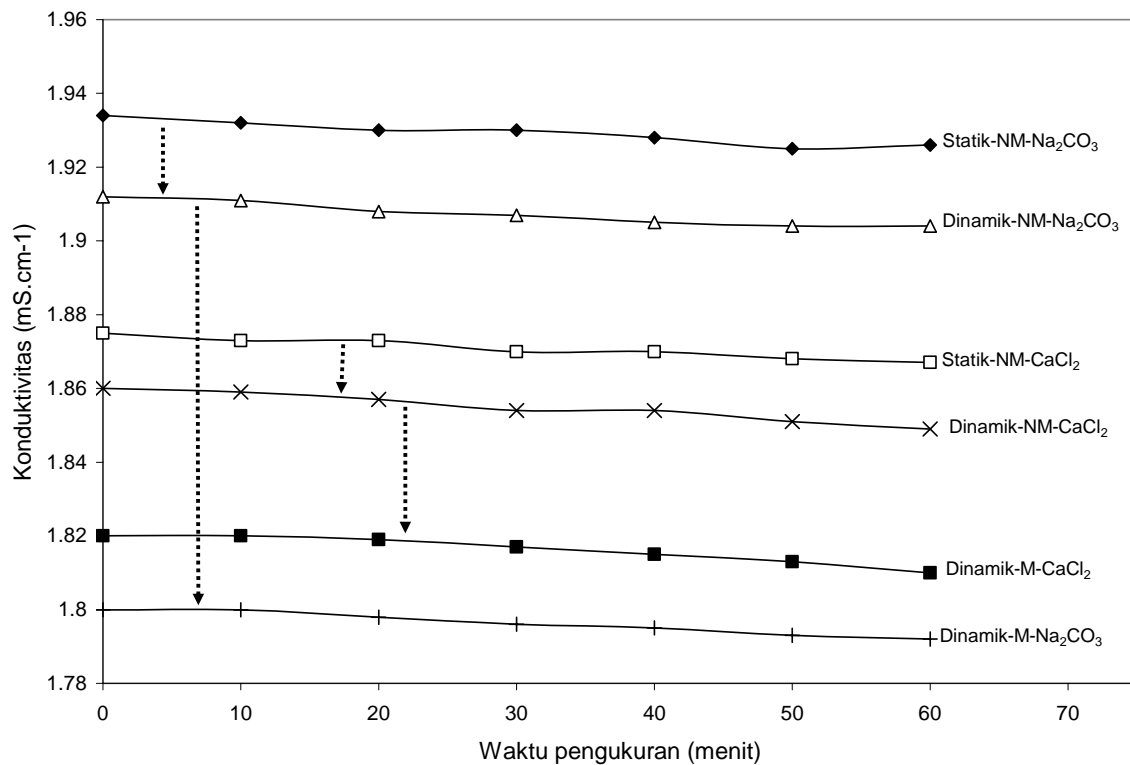
Gambar 2.Prosedur percobaan dan skema proses magnetisasi sirkulasi fluida dinamik

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses magnetisasi sistem fluida dinamik menggunakan sistem sirkulasi yaitu dengan melewati masing-masing larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 pada medan magnet. Pengukuran konduktivitas larutan dilakukan setelah proses magnetisasi yang bertujuan untuk melihat pengaruh medan magnet terhadap sifat hidrat ionnya. Selanjutnya, larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 dicampur dalam tabung presipitasi untuk diamati proses presipitasi CaCO_3 -nya. Pengaruh variabel proses terhadap presipitasi CaCO_3 juga akan dilaporkan pada bagian ini.

4.1 Konduktivitas larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 termagnetisasi.

Gambar 3 menunjukkan hasil pengukuran konduktivitas pada larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 termagnetisasi dan non-magnetisasi pada sistem fluida statik dan dinamik. Proses sirkulasi tanpa magnetisasi menurunkan konduktivitas larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 dibanding kondisi statik pada sampel non-magnetisasi. Hal ini menunjukkan agitasi mekanik menurunkan kekuatan interaksi hidrat ion. Kesimpulan ini diperkuat dengan turunnya presipitasi CaCO_3 pada larutan Na_2CO_3 yang disirkulasi (dinamik) dibanding dengan tanpa sirkulasi (statik) untuk sampel non-magnetisasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Konduktivitas larutan Na₂CO₃ dan CaCl₂ untuk sampel termagnetisasi (M) dan non-magnetisasi (NM) pada sistem fluida statik dan fluida dinamik.

Gambar 3 menunjukkan magnetisasi menurunkan konduktivitas larutan Na₂CO₃ dan CaCl₂ pada sistem fluida dinamik. Penurunan konduktivitas larutan Na₂CO₃ akibat medan magnet lebih besar dibanding larutan CaCl₂. Hal ini disebabkan harga $\Delta_{\text{hyd}}G$ untuk larutan Na₂CO₃ lebih besar dibanding larutan CaCl₂ (Tabel 1). Hal ini menunjukkan interaksi hidrat ion pada larutan Na₂CO₃ lebih lemah dibanding larutan CaCl₂ sehingga lebih mudah dipengaruhi oleh medan magnet.

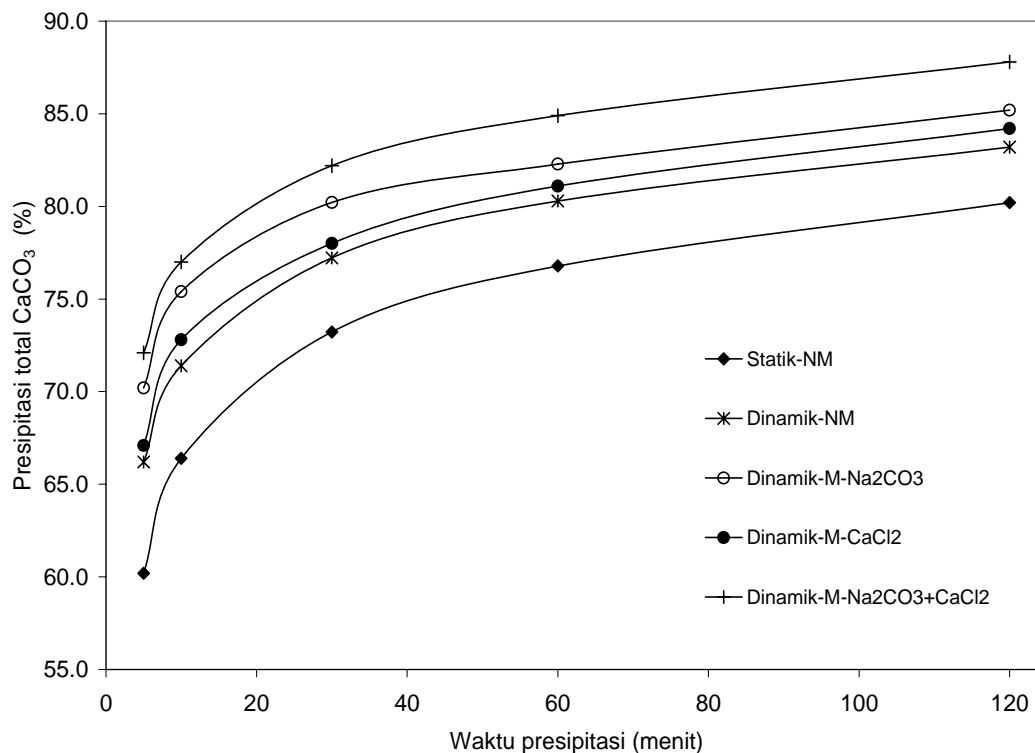
Tabel 1. Energi Gibbs hidrasi ($\Delta G_{\text{Hidration}}$), pada beberapa jenis ion dan molekul (Marcus, 1994).

Jenis ion / molekul	Jenis interaksi dgn H ₂ O	$\Delta G_{\text{Hidration}}$ (kJ.mol ⁻¹)
H ₂ O	H - bonding	5,7
Ca ²⁺	hidrat ion	1505
CO ₃ ²⁻	hidrat ion	1315
HCO ₃ ⁻	Hidrat ion	335
Na ⁺	hidrat ion	365
Cl ⁻	hidrat ion	340

Penurunan harga konduktivitas ini bersifat relatif stabil untuk waktu 60 menit pengukuran. Turunnya konduktivitas pada kondisi ini menunjukkan penurunan mobilitas hidrat ion akibat meningkatnya diameter hidrat ion.

4.2 Presipitasi CaCO₃ dari larutan Na₂CO₃ dan CaCl₂ termagnetisasi.

Hasil uji presipitasi CaCO_3 menunjukkan bahwa penurunan konduktivitas larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 berakibat pada meningkatnya presipitasi CaCO_3 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Penurunan konduktivitas larutan menunjukkan terjadinya peningkatan diameter hidrat ion yang disertai melemahnya (destabilisasi) interaksi hidrat ion. Penurunan interaksi hidrat ion oleh medan magnet dibuktikan dengan meningkatnya presipitasi CaCO_3 pada larutan termagnetisasi. Peningkatan presipitasi untuk larutan Na_2CO_3 termagnetisasi dinamik lebih besar dibanding larutan CaCl_2 . Hal ini berhubungan dengan penurunan untuk larutan Na_2CO_3 termagnetisasi dinamik lebih besar dibanding larutan CaCl_2 (gambar 4).



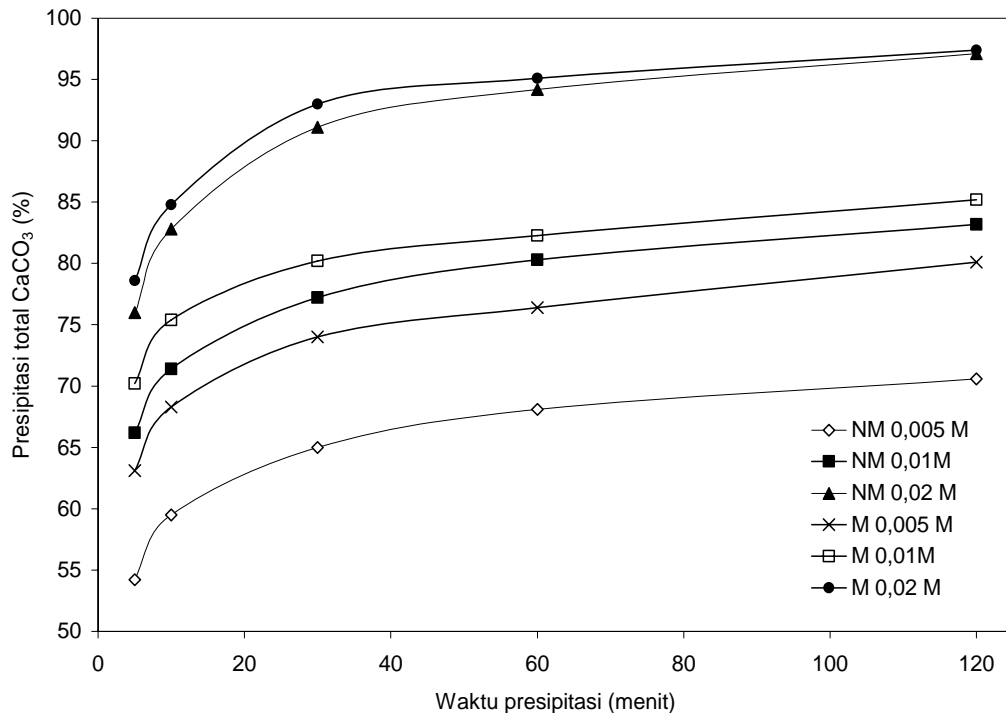
Gambar 4. Kurva presipitasi total CaCO_3 dari larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 pada sistem fluida statik dan fluida dinamik untuk sampel termagnetisasi (M) dan non-magnetisasi (NM). Fluida dinamik dilakukan pada $v : 0,554 \text{ m/s}$ dan $t_s : 10 \text{ menit}$, $L_m : 0,35 \text{ m}$, $B : 5,2 \text{ kG}$ dan $T : 28 \text{ }^\circ\text{C}$.

Penjelasan yang paling mungkin tentang melemahnya interaksi hidrat ion ini adalah bahwa efek gaya Lorentz pada ion yang bergerak melewati medan magnet menyebabkan terjadinya pergeseran ion (*local convection movement*) yang menimbulkan efek agitasi sesaat pada ion yang terkena gaya Lorentz dengan hidratnya. Hal ini menyebabkan pelemahan interaksi hidrat ionnya. Efek pelemahan hidrat ion ini bertambah dengan meningkatnya kecepatan alir.

4.3 Pengaruh variabel proses pada presipitasi CaCO_3

Gambar 5 dan tabel 2 menunjukkan dengan naiknya konsentrasi larutan CaCl_2 dan Na_2CO_3 mengakibatkan penurunan efek medan magnet dalam mendorong presipitasi CaCO_3 . Pada presipitasi 10 menit pertama, sampel dengan konsentrasi 0,005 M mengalami penurunan

kenaikan presipitasi relatif sebesar 14,2 %, sedangkan pada konsentrasi sampel 0,02 M sebesar 2,4 %.



Gambar 5. Efek konsentrasi larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 pada presipitasi total CaCO_3 untuk larutan Na_2CO_3 non-magnetisasi (NM) dan termagnetisasi (M) pada $v : 0,554 \text{ m/s}$, $t_s : 10 \text{ menit}$, $L_m : 0,35 \text{ m}$, $B : 5,2 \text{ kG}$ dan $T : 28 \text{ }^\circ\text{C}$.

Tabel 2. Pengaruh konsentrasi sampel terhadap kenaikan presipitasi total CaCO_3 pada 10 menit presipitasi. Magnetisasi dilakukan pada larutan Na_2CO_3 dengan $v : 0,554 \text{ m/s}$, $t_s : 10 \text{ menit}$, $L_m : 0,35 \text{ m}$, $B : 5,2 \text{ kG}$ dan $T : 28 \text{ }^\circ\text{C}$.

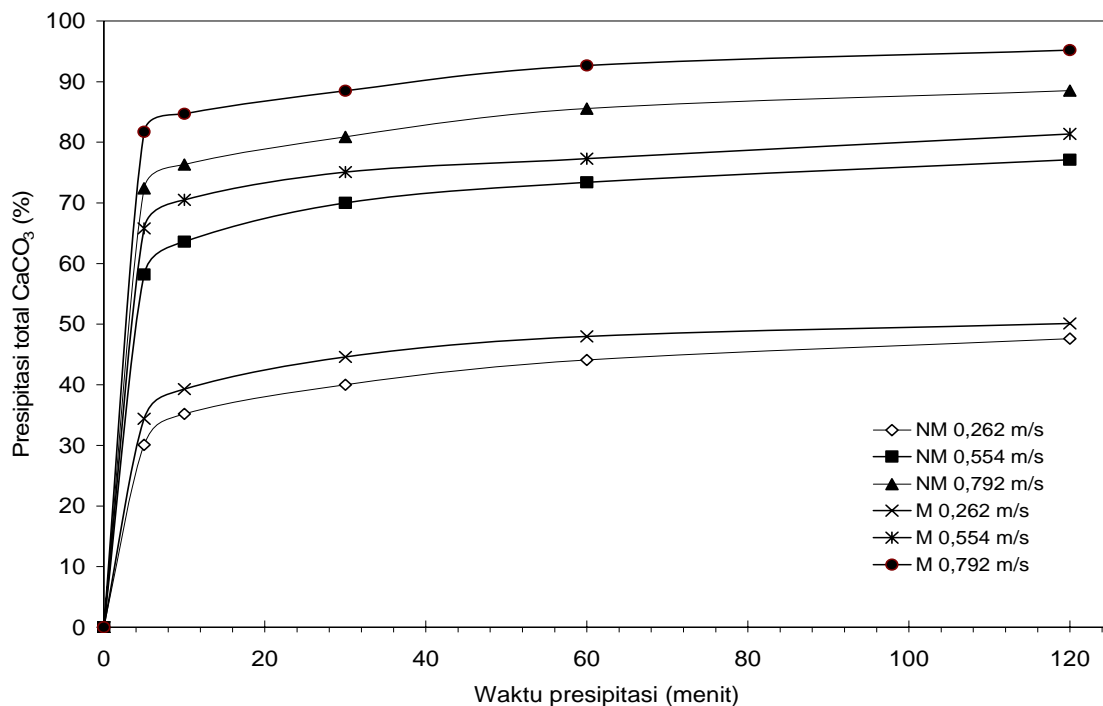
Sampel larutan	Presipitasi total CaCO_3 pada 10 menit presipitasi (%)		
	Konsentrasi sampel 0.005 M	Konsentrasi sampel 0.01 M	Konsentrasi sampel 0.02 M
Sampel termagnetisasi (M)	68,3	75,4	83,8
Sampel non-magnetisasi (NM)	59,5	71,4	82,8
Persen kenaikan presipitasi relatif : $100 \times (\text{M} - \text{NM}) / \text{NM}$	14,8	5,6	2,4

Naiknya konsentrasi larutan CaCl_2 dan Na_2CO_3 akan meningkatkan supersaturasi dan interaksi ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} , sehingga interaksi ion menjadi lebih dominan dibanding efek pelemahan interaksi hidrat ion akibat medan magnet. Hal ini ditunjukkan dengan makin berkurangnya persen kenaikan presipitasi relatif dengan makin tingginya konsentrasi larutan.

Gambar 6. dan tabel 3 menunjukkan efek medan magnet dalam mendorong presipitasi CaCO_3 meningkat dengan bertambahnya kecepatan alir. Gaya Lorentz merupakan faktor utama yang menyebabkan terjadinya efek pelemahan interaksi hidrat ion pada magnetisasi sistem

fluida dinamik. Untuk presipitasi 10 menit pertama, terjadi kenaikan persen presipitasi relatif dari 10,4 % pada kecepatan alir 0,262 m/s menjadi 11 % pada kecepatan alir 0,792 m/s.

Besarnya Gaya Lorentz merupakan fungsi langsung dari harga kecepatan gerak translasi ion (v). Bertambahnya kecepatan alir berarti meningkatkan kecepatan translasi dari ion melintasi medan magnet. Efek penurunan interaksi hidrat ion akibat gaya Lorentz terlihat dari meningkatnya presipitasi CaCO_3 . Pola aliran turbulen yang muncul pada kecepatan alir 0,792 m/s juga dapat berpengaruh terhadap menurunnya interaksi hidrat ion.

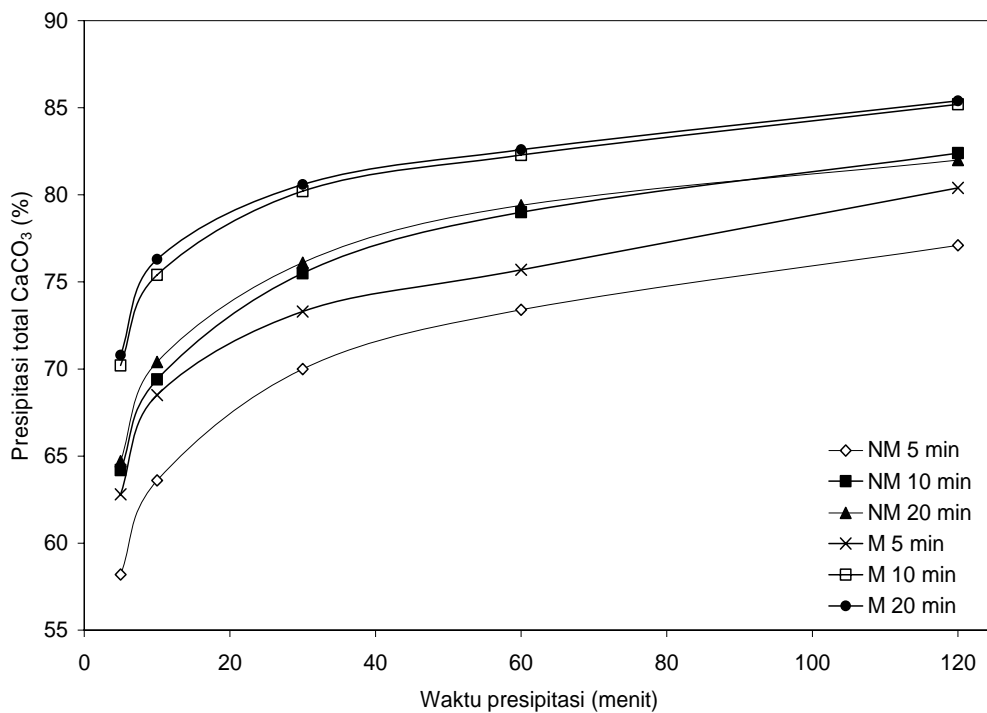


Gambar 6. Efek kecepatan alir pada presipitasi total CaCO_3 untuk sampel non-magnetisasi (NM) dan sampel termagnetisasi (M) pada waktu sirkulasi 5 menit. Magnetisasi dilakukan pada larutan Na_2CO_3 dengan $L_m : 0,35 \text{ m}$, $B : 5,2 \text{ kG}$ dan $T : 28 \text{ }^\circ\text{C}$.

Tabel 3. Pengaruh kecepatan alir terhadap kenaikan presipitasi total CaCO_3 pada 10 menit presipitasi. Magnetisasi dilakukan pada larutan Na_2CO_3 dengan $B : 5,2 \text{ kG}$, $L_m : 0,35 \text{ m}$, dan $T : 28 \text{ }^\circ\text{C}$.

Sampel larutan	Presipitasi total CaCO_3 pada 10 menit presipitasi (%)		
	Kecepatan alir ($v = 0,262 \text{ m/s}$) Re : 1816	Laju alir ($v = 0,554 \text{ m/s}$) Re : 3840	Laju alir ($v = 0,792 \text{ m/s}$) Re : 5490
Sampel termagnetisasi (M)	39,3	70,5	84,7
Sampel non-magnetisasi (NM)	35,2	63,6	76,3
Persen kenaikan presipitasi relatif : $100 \times (M - \text{NM})/\text{NM}$	10,4	10,8	11,0

Gambar 7 menunjukkan efek medan magnet dalam mendorong presipitasi CaCO_3 meningkat dengan bertambahnya waktu sirkulasi. Penambahan waktu sirkulasi (t_s) berarti menambah waktu magnetisasi (t_m) dan menyebabkan efek pelemahan hidrat ion juga meningkat. Tabel 4 menunjukkan peningkatan laju presipitasi optimum dicapai pada 10 menit sirkulasi dimana terjadi persen kenaikan relatif hingga 8,6 % sedangkan untuk waktu sirkulasi 20 menit, persen kenaikan relatif turun menjadi 8,4 %. Hal ini menunjukkan kondisi optimum ion-ion termagnetisasi untuk kecepatan alir 0,554 m/s tercapai pada waktu sirkulasi 10 menit.

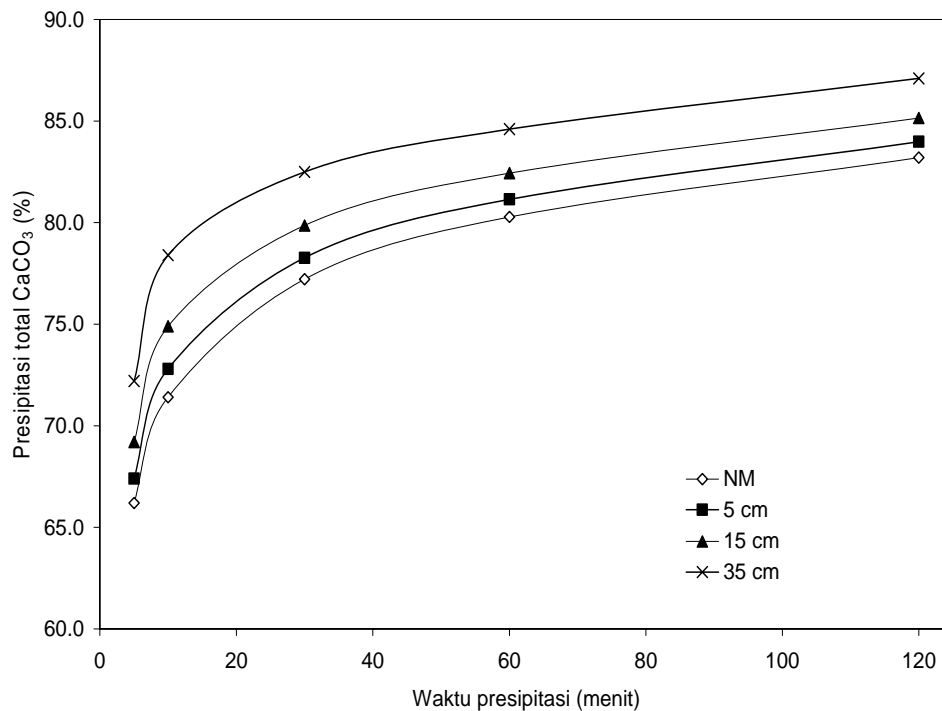


Gambar 7. Efek waktu sirkulasi pada presipitasi total CaCO_3 (v : 0,554 m/s, L_m : 0,35 m, B ; 5,2 kG, dan T : 28 °C).

Tabel 4 Pengaruh waktu sirkulasi terhadap kenaikan presipitasi total CaCO_3 pada 10 menit presipitasi. Magnetisasi dilakukan pada larutan Na_2CO_3 dengan v : 0,554 m/s, L_m : 0,35 m, B: 5,2 kG, dan T : 28 °C.

Sampel larutan	Presipitasi total CaCO_3 pada 10 menit presipitasi (%)		
	Sirkulasi 5 menit	Sirkulasi 10 menit	Sirkulasi 20 menit
Sampel magnetisasi (M)	68,5	75,4	76,3
Sampel non-magnetisasi (NM)	63,6	69,4	70,4
Persen kenaikan presipitasi relatif : $100 \times (M - NM)/NM$	7,2	8,6	8,4

Fathi (2006) menggunakan larutan CaCO_3 mendapatkan waktu optimum sirkulasi pada 15 menit dengan laju alir 0.94 L/menit dan panjang magnet 20 cm serta kuat medan 1600 Gauss. Hal ini menunjukkan bahwa magnetisasi pada air sadah akan mengalami kejenuhan pada harga laju alir, panjang magnet, dan kuat medan tertentu.



Gambar 8. Efek panjang magnet pada presipitasi total CaCO_3 . Magnetisasi dilakukan pada pada larutan Na_2CO_3 dengan $v : 0,554 \text{ m/s}$, $t_s : 10 \text{ menit}$, $B : 5,2 \text{ kG}$, dan $T : 28 \text{ }^\circ\text{C}$.

Gambar 8 menunjukkan penambahan panjang magnet akan menambah presipitasi CaCO_3 . Penambahan jumlah magnet secara seri berarti menambah panjang magnet sehingga menambah waktu magnetisasi

5. KESIMPULAN

Magnetisasi larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 dengan sistem sirkulasi fluida dinamik menurunkan konduktivitas larutan dan meningkatkan presipitasi CaCO_3 -nya. Efek medan magnet lebih terlihat pada larutan Na_2CO_3 dibanding larutan CaCl_2 . Kenaikan kecepatan alir, panjang magnet dan waktu sirkulasi menaikkan pengaruh medan magnet dalam mendorong presipitasi CaCO_3 . Waktu sirkulasi optimum dicapai pada 10 menit dengan persen kenaikan presipitasi relatif sebesar 8,6 %. Kenaikan konsentrasi larutan menurunkan persen kenaikan presipitasi relatif dari 14,8 persen untuk konsentrasi sampel 0,005 M menjadi 2,4 % pada konsentrasi sampel 0,02 M. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa medan magnet efektif dalam mengontrol jumlah kerak yang terbentuk dengan mendorong laju presipitasi CaCO_3 .



DAFTAR PUSTAKA

- 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, (2003). *Water Research*, 37, pp: 4685-4692.
- Fathi, A, Tlili, M., Gabrelli, C., Maurin, G., Ben Amor, M. 2007. Influence of magnetic field on calcium carbonate precipitation. *Desalination*, (206) : 163-168.
- Higashitani K, A.Kage, S. Katamura S Imai K, Hatade S, Effects of Magnetic Field on the Formation CaCO₃ Particles. *Journal Of Colloid Interface Science*, (1993)156, pp: 90-95.
- 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) pp: 363–368.
- Holysz L, Szezes A, Chibowski E, Effect of magnetic fields on water and electrolyte solution, *J.Colloid Interface Sci*, 316, (2007).
- Kozic V, Lipus L C, Magnetic Water Treatment for a Less Tenacious Scale; *J. Chem. Inf. Comput. Sci.* 43, (2003), pp. 1815-1819
- Marcus Y, A Simple Empirical Model Describing The Thermodynamics of Hydration of Ions of Ewidely Varying Charges, Sizes, and Shapes, *Biophysical Chemistry*, (1994) pp: 111-127.
- Saksono N, Magnetisasi Air Sadah untuk Pencegahan Pembentukan Kerak, *Jurnal Teknologi*, Edisi No.4, Tahun XX, 2006.