

**PEMBENTUKAN KERAK MAGNESIUM KARBONAT ($MgCO_3$) PADA
LAJU ALIR 30 ml/menit DENGAN KONSENTRASI Mg^{2+}
2000 ppm DAN 4000 ppm**



JURNAL

**Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar
Sarjana S-1 pada Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Semarang**

Disusun oleh:

Herwinsyah Angga Putra

NIM: C2A214014

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SEMARANG**

2017

PEMBENTUKAN KERAK MAGNESIUM KARBONAT (MgCO₃) PADA LAJU ALIR 30 ml/menit DENGAN KONSENTRASI Mg²⁺ 2000 ppm DAN 4000 ppm

Herwinsyah Angga Putra⁽¹⁾

Abstrak

Pembentukan kerak pada sistem perpipaan di industri maupun rumah tangga menimbulkan banyak permasalahan teknis dan ekonomis. Hal ini disebabkan karena kerak dapat menutupi atau menyumbat air yang mengalir dalam pipa dan sekaligus menghambat proses perpindahan panas pada peralatan penukar panas. Tujuan dilakukan penelitian ini yaitu untuk mengembangkan alat *Closed Circuit Scale Simulator*, memahami mekanisme pembentukan kerak MgCO₃ dengan 30 mL/menit didalam pipa dengan aliran fluida dan mengkaji hasil morfologi, dan komposisi kerak. Hasil yang didapatkan selama pengujian dengan mereaksikan MgCl₂ dan Na₂CO₃ menggunakan larutan Mg²⁺ berkonsentrasi 2000 ppm dan 4000 ppm dengan laju alir 30 mL/menit dengan pengukuran waktu induksi. Hasil penelitian menunjukkan pada konsentrasi larutan 4000 ppm diperoleh massa kerak MgCO₃ sebesar 28,2 mg sedangkan pada konsentrasi larutan 2000 ppm menghasilkan massa kerak MgCO₃ 17,6 gram. Waktu induksi untuk konsentrasi larutan 2000 ppm adalah 36 menit dengan nilai konduktivitas 8637 μS/cm sedangkan pada konsentrasi larutan 4000 ppm memiliki waktu induksi 28 menit dengan nilai konduktivitas sebesar 8625 μS/cm. Dari hasil SEM antara tanpa penambahan dan dengan penambahan terlihat bentuk morfologi kubus dengan struktur Kristal monoklin.

Kata Kunci : Kerak MgCO₃, konsentrasi, Waktu Induksi, SEM-EDS.

1. Mahasiswa Teknik Unimus

1. PENDAHULUAN

Kerak magnesium karbonat (MgCO_3) adalah tumpukan keras dari bahan anorganik dalam bentuk ion Mg^{2+} dan CO_3^{2-} terutama pada permukaan perpindahan panas yang disebabkan oleh pengendapan partikel mineral dalam air. Seperti air menguap dalam menara pendingin, uap yang murni hilang dan konsentrasi padatan terlarut dalam air yang tersisa. Jika konsentrasi siklus ini dibiarkan berlanjut, berbagai kelarutan padat akhirnya akan terlampaui. Padatan kemudian akan menetap di dalam pipa atau pada permukaan pertukaran panas, di mana ia sering membeku menjadi kerak (Bhatia, 2003).

Potensi kerak yang disebabkan oleh kerak MgCO_3 (Magnesium karbonat) dimiliki hampir semua jenis sumber air di dunia seperti air tanah, air payau, air laut serta air limbah. Magnesium karbonat membentuk padatan atau deposit yang sangat kuat menempel pada permukaan material. Sejauh ini MgCO_3 merupakan salah satu penyebab kerak pada beberapa sistem seperti instalasi *cooling water* (Tzotzi dkk, 2007). Penyebab terjadi kerak di dalam pipa akan mengurangi diameter serta menghambat aliran fluida pada sistem pipa tersebut, sehingga menimbulkan masalah terhambatnya aliran fluida. [Terganggunya](#) aliran fluida tersebut menyebabkan tekanan semakin tinggi, sehingga pipa mengalami kerusakan (Asnawati, 2001). Pembentukan kerak dapat dicegah dengan cara pelunakan dan pembebasan mineral air, akan tetapi penggunaan air bebas mineral dalam industri-industri besar membutuhkan biaya yang lebih tinggi (Sousa dan Bertran, 2014).

Oleh karena itu, pada penelitian ini mempelajari tentang pengaruh jumlah konsentrasi larutan Mg^{2+} terhadap pembentukan kerak MgCO_3 , sehingga pertumbuhan kerak magnesium karbonat yang terbentuk di dalam pipa-pipa industri dapat diketahui. Penelitian ini juga mempelajari perubahan morfologi kerak dan pertumbuhan massa kerak

2. TINJAUAN PUSTAKA

Kerak merupakan endapan yang terbentuk dari proses kristalisasi dan pengendapan mineral yang terkandung dalam suatu zat. Pembentukan kerak biasanya terjadi di bidang-bidang yang bersentuhan secara langsung dengan suatu fluida selama proses produksi, seperti alat penukar panas (*heat exchangers*), rangkaian pompa dalam sumur (*downhole pump*), pipa produksi, pipa selubung, pipa alir, serta peralatan produksi lainnya (Crabtree, 1990).



Pembentukan Kerak

Mekanisme pembentukan endapan kerak berkaitan erat dengan komposisi air di dalam formasi. Secara umum, air mengandung ion-ion terlarut, baik itu berupa kation (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} dan Fe^{3+}), maupun anion (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} dan CO_3^{2-}). Kation dan anion yang terlarut dalam air akan membentuk senyawa yang mengakibatkan terjadinya proses kelarutan. Kelarutan didefinisikan sebagai batas suatu zat yang dapat dilarutkan dalam zat pelarut pada kondisi fisik tertentu. Proses terlarutnya ion-ion dalam air formasi merupakan fungsi dari tekanan, temperatur serta waktu kontak antara air dengan media pembentukan (Ratna, 2011).

Dalam proses produksi, perubahan kelarutan terjadi seiring dengan penurunan tekanan dan perubahan temperatur selama produksi. Perubahan angka kelarutan pada tiap zat terlarut dalam air formasi akan menyebabkan terganggunya keseimbangan dalam air formasi, sehingga akan terjadi reaksi kimia antara ion positif (kation) dan ion negatif (anion) dengan membentuk senyawa endapan yang berupa kristal (Ratna, 2011).

Dari penjelasan diatas, faktor yang mendukung pembentukan selama pengendapan kerak yang berpengaruh pada dua faktor penting, yaitu laju pembentukan inti (nukleasi) dan laju pertumbuhan kristal.

1. Pembentukan inti (nukleus)

Laju pembentukan inti tersebut dapat dinyatakan dengan jumlah inti yang terbentuk dalam satuan waktu, yang dimana jika laju pembentukan itu tinggi maka akan banyak sekali kristal yang akan terbentuk yang berupa partikel-partikel kecil. Pada pembentukan inti bergantung pada derajat lewat jenuh dari larutan semakin tinggi derajat lewat jenuh maka akan semakin besar

kemungkinan untuk pembentukan inti baru yang pada akhirnya akan membuat semakin besar laju pembentukan inti.

2. Laju pertumbuhan kristal

Laju pertumbuhan kristal merupakan faktor penting lainnya yang mempengaruhi ukuran kristal yang terbentuk selama pengendapan berlangsung. Semakin tinggi pertumbuhan maka kristal yang terbentuk akan semakin besar. Laju aliran juga bergantung pada derajat lewat jenuh atau bisa disebut juga rekristalisasi (Svehla, 1990).

Jenis kerak dan faktor yang mempengaruhinya

Kerak dapat dikenali dengan mengklasifikasikannya berdasarkan komposisi yang membentuk kerak dan jenis pengendapannya. Berdasarkan komposisinya, cara umum kerak dibedakan menjadi kerak Sulfat, kerak sulfat, serta campuran dari keduanya (Siswoyo dan Erna, 2005).

Jenis komponen endapan kerak (Ratna,2011)

Chemical name	Chemical formula	Mineral name
Water soluble scale Natrium chloride	NaCl	Halite
Acid soluble scale Calcium carbonat Iron carbonat Iron sulfide Iron oxide Iron oxide Magnisium carbonat Magnesium hydroxide Barium Carbonat Strornmtium Carbonat	CaCO ₃ FeCO ₃ FeS ₇ Fe ₂ O ₃ Fe ₂ O ₄ MgCO ₃ Mg(OH) ₂ BaCO ₃ SrCO ₃	Calcite Siderite Trolite Hematite Magnetit Dolomite Brucite Witerit Strontianite
Acid insoluble scale Calcium sulfat Calcium sulfat	CaSO ₄ CaSO ₄	Anhydrate Gypsum

Dari sekian banyak jenis kerak yang dapat terbentuk, hanya sebagian kecil yang seringkali di jumpai pada industry perminyakan. Menunjukkan jenis-jenis kerak yang umum terjadi di lapangan.

Jenis kerak	Rumus kimia	Faktor yang berpengaruh
Kalsium karbonat (kalsit) Magnesium Karbonat	CaCO ₃ MgCO ₃	<ul style="list-style-type: none"> • Penurunan tekanan (Ca₂) • Perubahan temperatur • Kandungan garam terlarut • Perubahan keasamaan (pH)
Kalsium sulfat Gypsum (sering hemi-Hydrate anhydrite)	CaSO ₄ · 2 H ₂ O CaSO ₄ · 1/2 H ₂ O CaSO ₄	<ul style="list-style-type: none"> • Perubahanm tekan dan temperatur • Kandungan garam terlarut
Barium sulfat Strontium sulfat	BaSO ₄ SrSO ₄	<ul style="list-style-type: none"> • Perubahanm tekan dan temperatur • Kandungan garam terlarut
Komponen besi Besi Sulfat Ferrous hydroxide Ferric oxide	FeSO ₄ Fe(OH) ₂ Fe ₂ O ₃	<ul style="list-style-type: none"> • Korosi • Kandungan gas terlarut • Derajat keasaman (pH)

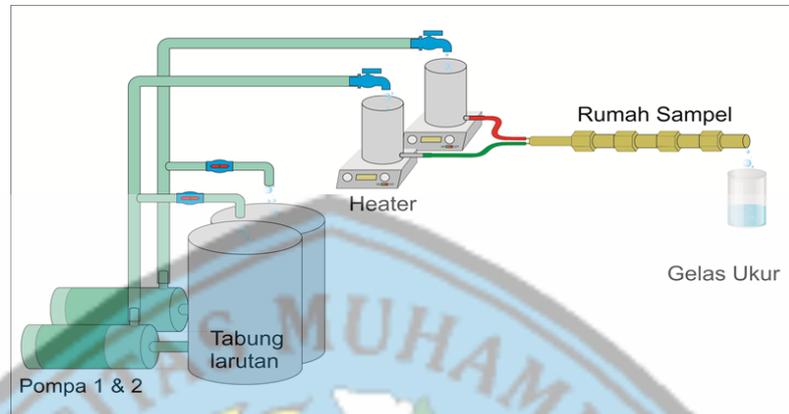
3. METODE PENELITIAN

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat yang di rancang sendiri oleh peneliti terdahulu. Alat tersebut terdiri dari empat buah bejana yaitu dua bejana dibawah (1,2) dengan kapasitas 6 liter dan dua bejana diatas (3, 4) dengan kapasitas 0,8 liter. Kegunaan bejana tersebut adalah untuk menampung larutan MgCl₂ pada bejana 1 dan 3 dan larutan Na₂CO₃ pada bejana 2 dan 4. Pada alat tersebut dipasang dua buah pompa yang digunakan untuk memompa larutan MgCl₂ dari bejana 1 ke bejana 3 dan larutan Na₂CO₃ dari bejana 2 ke bejana 4. Permukaan larutan pada bejana 3 dan 4 dijaga agar keduanya mempunyai ketinggian yang sama dan dapat diatur naik atau turun guna mendapatkan perbedaan ketinggian permukaan dengan pengeluaran akhir dari rumah kupon sehingga dapat digunakan untuk mengatur laju aliran.

Larutan yang berada didalam bejana 3 dan 4 kemudian secara bersamaan dialirkan menuju kupon, selanjutnya larutan tersebut mengalir dan masuk kedalam bejana penampungan yang kemudian dibuang sebagai limbah. Didalam kupon-kupon larutan MgCl₂ dan Na₂CO₃ bereaksi sehingga membentuk kerak. Kerak tersebut mengendap pada dinding-dinding kupon yang disebut sebagai kerak MgCO₃.

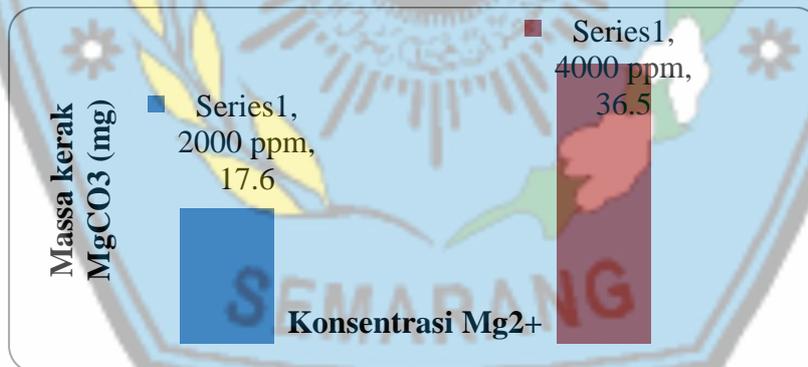
Skema Alat Prototype Closed Circuit Scale Simulator

Gambar : 3.3 Skema Closed Circuit Scale Simulator (S.Raharjo 2016



4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian mengenai pengaruh konsentrasi Mg^{2+} terhadap massa kerak magnesium karbonat dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh konsentrasi terhadap pembentukan massa kerak magnesium karbonat. Laju alir yang digunakan dalam penelitian ini adalah 30 mL/menit. Pengaruh konsentrasi terhadap massa kerak magnesium karbonat ditunjukkan pada Gambar 4.1.



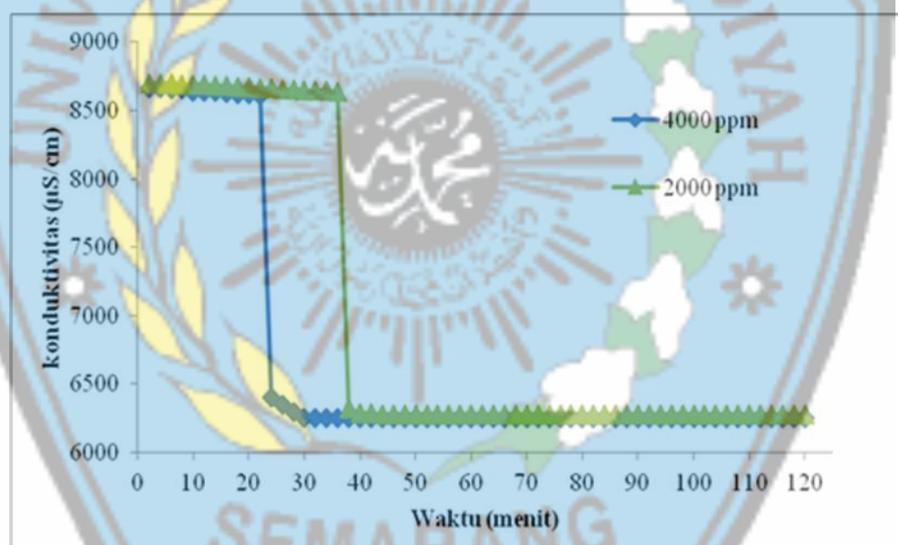
Grafik hubungan antara konsentrasi Mg^{2+} larutan pada laju alir 30 mL/menit dengan massa kerak magnesium karbonat.

Menunjukkan bahwa pada laju alir stabil 30 mL/menit pada konsentrasi larutan 4000 ppm Mg^{2+} , massa kerak Magnesium karbonat yang terbentuk lebih banyak dibandingkan dengan pada konsentrasi larutan 2000 ppm Mg^{2+} . Ini menunjukkan pada konsentrasi 4000 ppm, reaksi antara reaktan $MgCl_2$ dan Na_2CO_3 berjalan lebih cepat dibanding pada konsentrasi 2000 ppm. Konsentrasi

Mg²⁺ yang semakin besar menyebabkan jumlah ion dalam larutan semakin banyak. Banyaknya ion tersebut mengakibatkan jumlah tumbukan yang semakin besar sehingga laju reaksi akan meningkat dan kerak magnesium karbonat yang terbentuk semakin banyak

Analisa Waktu Induksi

Analisa yang dilakukan yaitu tentang waktu yang dibutuhkan oleh senyawa Magnesium karbonat untuk membentuk inti kristal pertama kali. Waktu induksi ditandai dengan menurunnya nilai konduktivitas larutan secara tajam yang menandakan bahwa ion Magnesium telah bereaksi dengan ion karbonat dan mengendap membentuk kerak. Waktu induksi untuk konsentrasi 2000 ppm dan 4000 ppm masing-masing menunjukkan nilai yang berbeda seperti yang terlihat pada grafik hubungan antara konduktivitas dengan waktu.



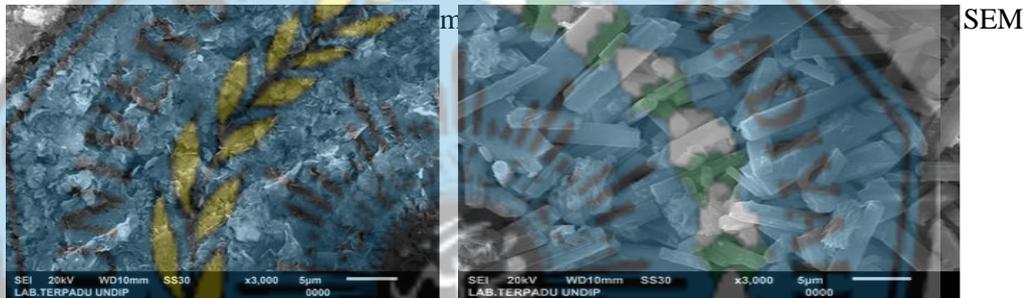
Grafik hubungan konduktivitas dengan waktu

Merupakan grafik hubungan antara konduktivitas larutan dengan waktu penelitian variasi konsentrasi Mg²⁺ 2000 ppm dan 4000 ppm. Pada waktu tertentu terjadi penurunan secara signifikan. Titik penurunan tersebut merupakan waktu induksi. Waktu induksi untuk konsentrasi larutan 2000 ppm adalah 36 menit dengan nilai konduktivitas 8637 $\mu\text{S/cm}$ sedangkan pada konsentrasi larutan 4000 ppm memiliki waktu induksi 22 menit dengan nilai konduktivitas sebesar 8612 $\mu\text{S/cm}$. Nilai waktu induksi pada konsentrasi larutan 2000 ppm lebih tinggi dari pada

konsentrasi larutan 4000 ppm. Hal ini menunjukkan proses pembentukan inti pada 4000 ppm cepat dibandingkan pada larutan 2000 ppm. Semakin besar konsentrasi Mg^{2+} , semakin cepat pula waktu induksi yang terjadi. Semakin kecil waktu induksi berarti semakin cepat inti kristal $MgCO_3$ terbentuk (Muryanto dkk, 2014)

Pengujian SEM

Pengujian SEM dan pengujian *microanalyser* bisa dilakukan pada suatu instrumen yaitu dengan menggunakan perangkat SEM-EDS. Pengujian SEM dilakukan untuk mengkaji morfologi kristal sedangkan pengujian *microanalyser* bertujuan untuk mengetahui komposisi Magnesium karbonat ($MgCO_3$). Kajian morfologi adalah kajian yang meliputi kekasaran kristal, ukuran kristal, bentuk

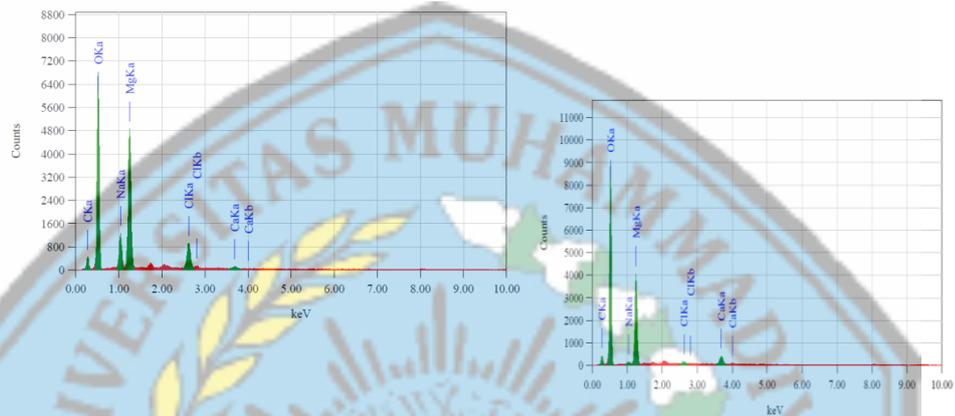


Setelah melakukan pengamatan terhadap hasil SEM yang di cantumkan pada Gambar 4.3 dengan perbesaran 3.000 kali. Proses pembentukan kristal yang dilakukan melalui percobaan dimana dengan menggunakan konsentrasi larutan $MgCO_3$ 2000 ppm dan 4000 ppm dengan laju alir 30 mL/menit. Gambar (a) merupakan bentuk morfologi kerak hasil uji kristalisasi dengan konsentrasi larutan 2000 ppm sedangkan Gambar (b) merupakan hasil uji kristalisasi pada konsentrasi larutan 4000 ppm. Perbedaan morfologi antara 2000 ppm dan 4000 ppm adalah bentuk kristal konsentrasi larutan 4000 ppm lebih besar dan banyak dibandingkan dengan pada konsentrasi larutan 2000 ppm. Fase magnesite kerak Magnesium karbonat memiliki bentuk kristal monoklin.

Dari kedua hasil uji SEM tersebut menandakan bahwa konsentrasi yang lebih besar mampu meningkatkan pembentukan fasa magnesit yang merupakan jenis fasa *hardscale*. Apabila kristal ini terbentuk dan mengendap di dalam pipa maka akan menghasilkan kerak yang sulit untuk dibersihkan dari suatu sistem perpipaan. Jenis kristal lainnya magnesium karbonat yaitu *barringtonite*, *nesquehonite* dan *nesquehonite* merupakan jenis *softscale* yang lebih mudah dibersihkan apabila menempel pada dinding dalam pipa (Holysz dkk, 2007).

Pengujian EDS

Pada prinsipnya mikroskop elektron dapat mengamati morfologi, struktur mikro, komposisi, dan distribusi unsur. Untuk menentukan komposisi unsur secara kualitatif dan kuantitatif perlu dirangkaikan satu perangkat alat EDS (*Energy Dispersive X-ray Spectrometer*). Hasil Pengujian EDS hasil percobaan pada laju alir 30 mL/menit pada konsentrasi 2000 ppm dan 4000 ppm dapat



Gambar Hasil Analisis EDS konsentrasi larutan 2000 ppm dan 4000 ppm

Hasil analisa mikro Kristal magnesium karbonat laju alir 30Ml/menit dengan kosentrasi 2000 ppm dan 4000 ppm

Element	2000 ppm	4000 ppm
C K	40,78	43,59
O K	19,69	21,23
Mg K	25,68	29,19

Menurut perhitungan teoritis presentase berat kandungan Mg pada $MgCO_3$ seharusnya adalah $24/100 \times 100\% = 24 \text{ wt\%}$ sedangkan hasil analisa mikro dengan konsentrasi 2000 ppm kandungan Mg = 25,68% sehingga mempunyai selisih 1,68% dan pada konsentrasi larutan 4000 ppm kandungan Mg = 29,19 % sehingga mempunyai selisih 5,19%. Untuk kadar carbon (C) seharusnya $12/100 \times 100\% = 12 \text{ wt\%}$ sedangkan hasil analisa mikro pada konsentrasi larutan 2000 ppm didapatkan 40,78% wt sehingga mempunyai selisih 28,78% dan untuk konsentrasi larutan 4000 ppm didapatkan 43,59% maka mempunyai selisih 31,59%. Untuk kadar oksigen seharusnya $48/100 \times 100\% = 48 \text{ wt\%}$ sedangkan hasil analisa mikro pada konsentrasi larutan 2000 ppm menunjukan 19,69% sehingga mempunyai selisih

28.31% dan untuk konsentrasi larutan 4000 ppm didapatkan hasil 21,23% sehingga mempunyai selisih 9,23%.

Perbedaan hasil analisa mikro ini di akibatkan oleh beberapa sebab yaitu :

1. Adanya konsentrasi larutan dengan variabel 2000 ppm dengan 300 ppm sehingga proporsi $MgCO_3$ mengalami perubahan.
2. Adanya kandungan natrium dan klorid dalam kristal sehingga berpengaruh komposisi kristal.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan dapat disimpulkan bahwa:

1. Semakin banyak konsentrasi larutan, massa kerak yang terbentuk semakin banyak. Hasil penelitian menunjukkan pada konsentrasi larutan 4000 ppm diperoleh massa kerak $MgCO_3$ sebesar 36,5 mg sedangkan pada konsentrasi larutan 2000 ppm menghasilkan massa kerak $MgCO_3$ 17,6 gram.
2. Semakin besar konsentrasi larutan, waktu induksi akan semakin cepat. Waktu induksi untuk konsentrasi larutan 2000 ppm adalah 36 menit dengan nilai konduktivitas 8637 $\mu S/cm$ sedangkan pada konsentrasi larutan 4000 ppm memiliki waktu induksi 22 menit dengan nilai konduktivitas sebesar 8612 $\mu S/cm$.
3. Dari hasil SEM antara tanpa penambahan dan dengan penambahan terlihat bentuk morfologi kubus dengan struktur Kristal monoklin.

Saran

Saran yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian yaitu:

1. Penelitian kerak $MgCO_3$ dapat dilakukan kembali dengan alat penelitian yang sama dengan mengubah parameternya seperti material kupon (baja tahan karat, kuningan, dll), penggunaan aditif yang berbeda (PMA, PCA, HEDP,dll atau dengan ion Ba, Cu, dll) , dengan jenis aliran turbulen,dll.
2. Penelitian untuk jenis kerak yang lain (seperti kerak barium carbonat, strontium carbonat dan mineral fosfat yang lain) dapat dilakukan menggunakan alat penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alimi, F., Tlili, M., Amor, M.B., Gabrielli, C., Maurin, G. (2007), *Influence of magnetic field on calcium carbonate precipitation*, *Desalination*, 206, 163-168.
- Andritsos dan Karabelas, 1992. A conductance probe for measuring liquid fraction in pipes and packed beds. *International Journal of Multiphase Flow* 18 (5), 653-667
- Antony, A., Low, J. H., Gray, S., Childress, A. E., Le-Clech, P., Leslie, G. (2011). *Scale formation and control in high pressure membrane water treatment systems: A review*. *Journal of Membrane Science*, 383, 1-16.
- Asnawati., (2001). *Pengaruh temperatur terhadap reaksi fosfonat dalam inhibitor kerak pada sumur minyak*. *Jurnal Ilmu Dasar*, Vol.2. No.1, Hal.20-26.
- Bansal, B., H. Muller S., D. Chen. (1997). Effect of suspended particles on crystalization fouling in plate heat exchangers. *ASME* 119 : 568 - 574
- Barbara, B. Luc Thomas, Andrea C. (1999). Nonexponential Dynamic Scaling of the Magnetization Relaxation in Mn12 Acetate. *Phys. Rev. Lett.* 83, 2398
- Bhatia, A. (2003), "cooling water problems and solutions", Continuing Education and Development, Inc. 9 Greyridge Farm Court Stony Point, NY 10980. Course No : 05-009.
- Bott, T.R., (1995), *Fouling of Heat Exchangers*, Elsevier, Amsterdam and New York.
- Crabtree, M., Eslinger, D., Fletcher, P., Miller, M., Johnson, A., King, G. (1999). *Fighting scale removal and prevention*. *Oilfield Review*, 11(3), pp.30-45.
- Dewi dan Ali, 2003. Kinetic Study Of Electrocrystalization On Calcium Carbonate On Metallic Substrates, *Journal Of Crystal Growth*, 291 :428-435.
- Fathi, A., Mohamed, T., Claude, G., Maurin, G., Mohamed, B. A. (2006). Effect of a magnetic water treatment on homogeneous and heterogeneous precipitation of calcium carbonate. *Water Research*, 40(10), 1941-1950.
- Garcia, C., Courbin, G., Ropital, F., Fiaud, C. (2001), *Study of the scale inhibition by HEDP in a channel flow cell using a quartz crystal microbalance*, *Electrochimica Acta*, 46, pp: 973-985