

PEMBENTUKAN KERAK MAGNESIUM KARBONAT $MgCO_3$ PADA LAJU ALIR 30 ml/menit DENGAN KONSENTRASI Mg^{2+} 3000 ppm dan 4000 ppm

Bayu Setya Mandela¹

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 $MgCO_3$ dengan 30 mL/menit didalam pipa dengan aliran fluida dan mengkaji hasil morfologi, dan komposisi kerak. Hasil yang didapatkan selama pengujian dengan mereaksikan $MgCl_2$ dan Na_2CO_3 menggunakan larutan Mg^{2+} berkonsentrasi 3000 ppm dan 4000 ppm dengan laju alir 30 mL/menit dengan pengukuran waktu induksi. Hasil penelitian menunjukkan pada konsentrasi larutan 3000 ppm diperoleh massa kerak $MgCO_3$ sebesar 36,4 mg sedangkan pada konsentrasi larutan 4000 ppm menghasilkan massa kerak $MgCO_3$ 28,2 gram. Waktu induksi untuk konsentrasi larutan 3000 ppm adalah 28 menit dengan nilai konduktivitas 8625 $\mu S/cm$ sedangkan pada konsentrasi larutan 4000 ppm memiliki waktu induksi 22 menit dengan nilai konduktivitas sebesar 8612 $\mu S/cm$. Dari hasil SEM antara tanpa penambahan dan dengan penambahan terlihat bentuk morfologi kubus dengan struktur Kristal monoklin.

Kata Kunci : Kerak $MgCO_3$, Konsentrasi, Waktu Induksi, SEM-EDS.

PENDAHULUAN

Kerak merupakan senyawa mineral berupa kalsium karbonat, kalsium sulfat, magnesium karbonat dan dalam keadaan tertentu disertai pula unsur-unsur lain yaitu mineral besi serta butiran pasir. Dari semua jenis kerak yang disebutkan kerak Magnesium Karbonat ($MgCO_3$) paling banyak dijumpai. 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. Padatan kemudian akan menetap di dalam pipa atau pada permukaan pertukaran panas, di mana ia sering membeku menjadi kerak (Bhatia, 2003).

¹ Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Semarang

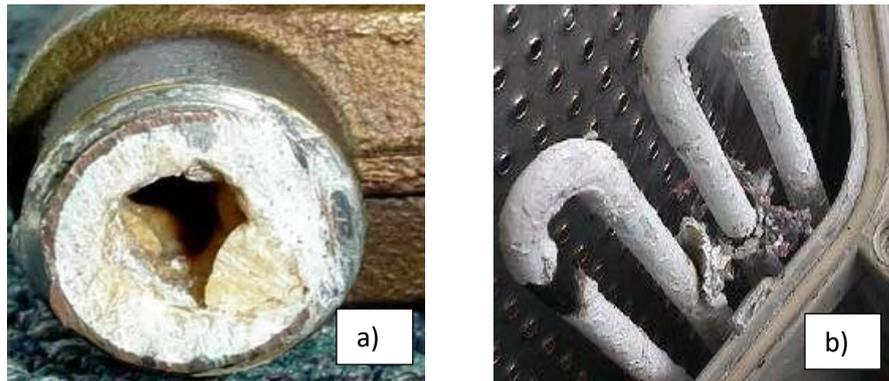
Pengerakan banyak terjadi pada pipa pengaliran air, sehingga kecepatan fluida merupakan faktor yang sangat berpengaruh. Fluida yang mengalir dalam pipa mempunyai uraian gaya aksial dan radial yang menyebabkan pergerakan inti kerak yang terbentuk. Gaya radial menyerupai gaya geser yang mengenai dinding pipa secara tegak lurus hingga menyebabkan terlepasnya sebagian inti kerak yang telah menempel pada dinding pipa. Selanjutnya inti kerak didorong oleh gaya aksial fluida sehingga terbawa oleh aliran dan menempel pada bagian dinding lain. Dalam hal ini gaya aksial radial yang dimiliki oleh aliran fluida berfungsi sebagai penyebar inti kerak sehingga akan menjadi pasat-pusat baru bagi pertumbuhan kerak. Pengaruh dari gaya radial fluida adalah mendorong inti kerak telah terbentuk yang berada pada bagian tengah pipa ke arah dinding pipa sehingga membuat inti tersebut menempel pada dinding, selanjutnya ia ditemplei oleh endapan kerak yang terbentuk kemudian dan inti kerak tersebut menjadi lebih besar.

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui proses pengerakan Magnesium karbonat $MgCO_3$ di dalam pipa.
2. Mengetahui pengaruh larutan Mg^{2+} 3000 ppm dan 4000 ppm terhadap pembentukan kerak $MgCO_3$ pada suhu $40^{\circ}C$.
3. Mengetahui morfologi kerak $MgCO_3$ dan komposisi kimia.

LANDASAN TEORI

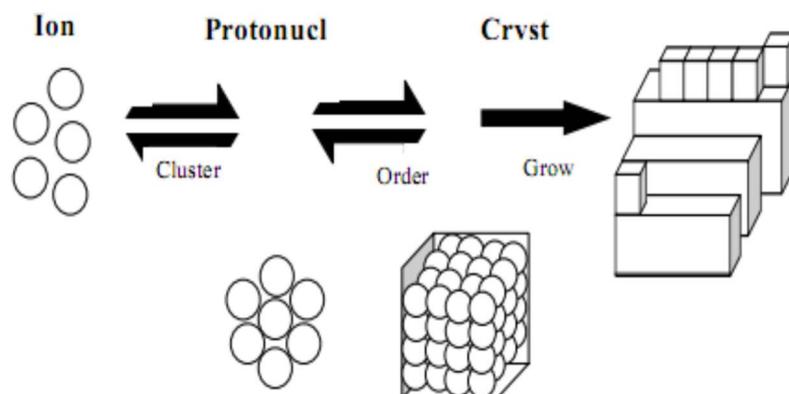
Kerak merupakan endapan yang terbentuk dari proses kristalisasi dan pengendapan mineral yang terkandung dalam suatu zat. Pembentukan kerak biasanya terjadi di bidang-bidang yang bersentuhan secara langsung dengan suatu fluida selama proses produksi, seperti alat penukar panas (*heat exchangers*), rangkaian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



Gambar 1. Endapan Kerak Magnesium Karbonat (a) dalam Pipa (b) Permukaan Heat Exchangers (Crabtree *et al*,1990).

Kristalisasi

Kristalisasi merupakan peristiwa pembentukan partikel-partikel zat padat dalam suatu fase homogen. Kristalisasi dari larutan dapat terjadi jika padatan terlarut dalam keadaan berlebih (diluar kesetimbangan), maka sistem akan mencapai kesetimbangan dengan cara mengkristalkan padatan terlarut (Dewi dan Ali, 2003). Kristalisasi senyawa dalam larutan langsung pada permukaan transfer panas dimana kerak terbentuk memerlukan tiga faktor simultan yaitu konsentrasi lewat jenuh (*supersaturation*), terbentuknya inti kristal dan waktu kontak yang memadai. Pada saat terjadi penguapan, kondisi jenuh (*saturation*) dan kondisi lewat jenuh (*supersaturation*) dicapai secara simultan melalui pemekatan larutan dan penurunan daya larut seimbang saat kenaikan suhu menjadi suhu penguapan.



Gambar 2. Tahapan kristalisasi

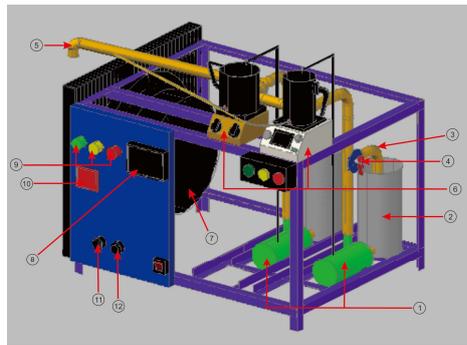
METODOLOGI PENELITIAN

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

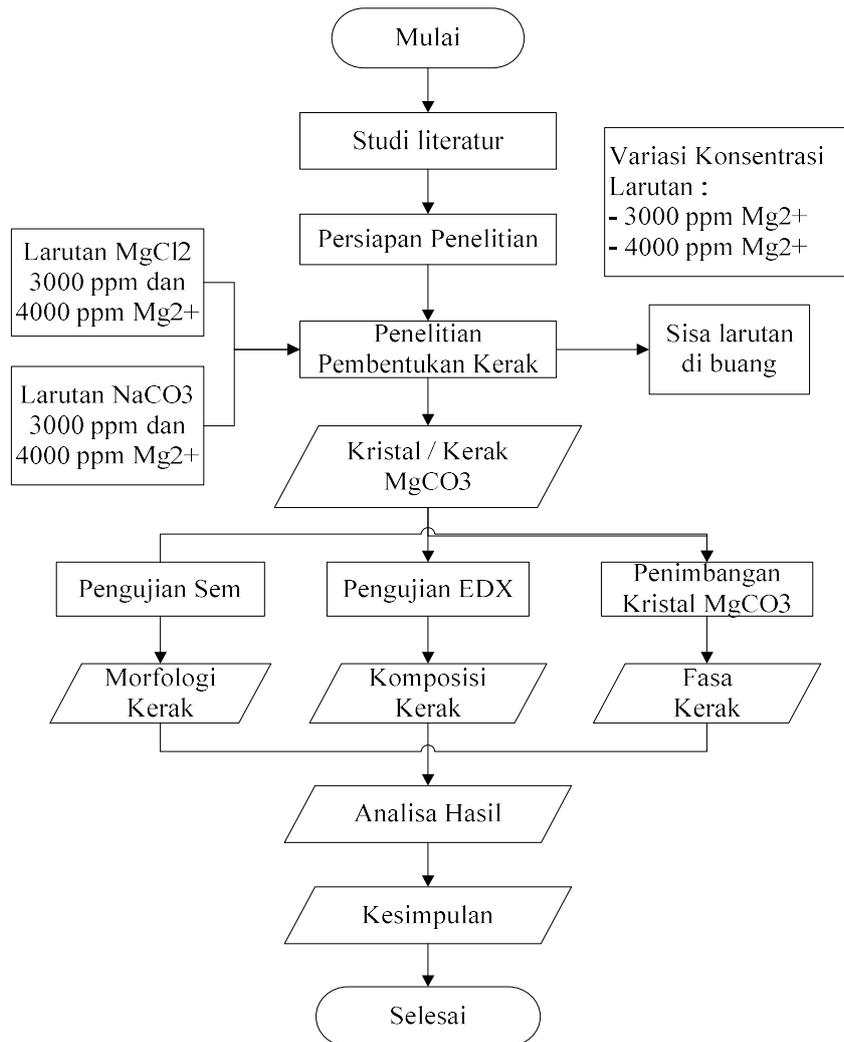
- Larutan Na_2CO_3 dengan konsentrasi Mg^{+2} 3000 ppm dan 4000 ppm dibuat dengan melarutkan kristal Na_2CO_3 (*Natrium Carboant*) grade : analitik
- Larutan MgCl_2 dengan konsentrasi Mg^{+2} 3000 ppm dan 4000 ppm dibuat dengan melarutkan kristal CaCl_2 (*Calcium Chloride Dihydrad*) grade : analitik
- Aquades

Alat Penelitian



Gambar 3. Desain *prototype Closed Circuit Scale Simulator* (S.Raharjo.2016)

- | | |
|-------------------------|-----------------------------|
| 1) Pompa iwaki magnetic | 7) kipas |
| 2) Bak penampung | 8) Grafik Panel |
| 3) <i>Bypass</i> | 9) Lampu Indikator |
| 4) Kran | 10) Temperatur Kontrol |
| 5) Pipa | 11) Saklar Heater dan Kipas |
| 6) heater | 12) Saklar Pomp |

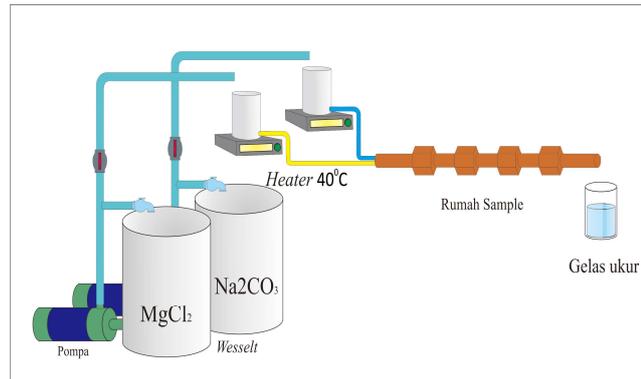


Gambar 4. Diagram Alir Penelitian.

Alat Eksperimen Pembentukan kerak

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 dengan kapasitas 0,8 liter. Kegunaan bejana tersebut adalah untuk menampung larutan $MgCl_2$ pada bejana 1 dan dialirkan ke bejana bagian atas untuk di panaskan dalam suhu $40^{\circ}C$, begitu juga dengan bejana 2 yang mengandung larutan Na_2CO_3 . Kedua larutan tersebut dialirkan ke bejana atas dengan pompa fluida. Permukaan larutan pada bejana bagian atas 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.

Skema Alat *Prototype Closed Circuit Scale Simulator*



Gambar 5. Skema *Closed Circuit Scale Simulator* (S.Raharjo 2016)

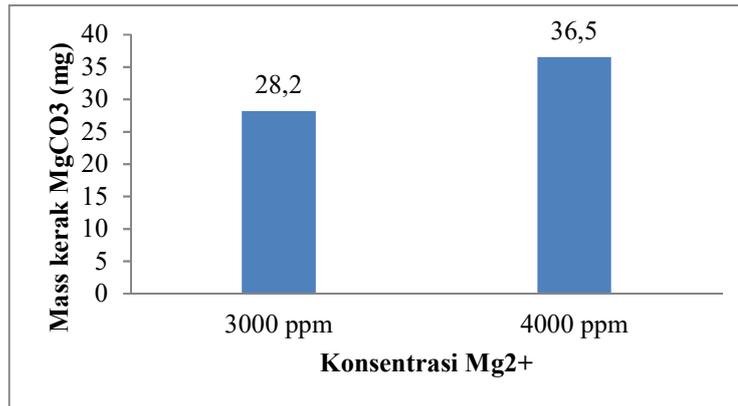
Pengujian Alat

Pengujian alat meliputi kecepatan aliran meninggalkan kupon tepat sesuai desain yaitu 30 mL/menit dengan 3000 ppm Mg^{2+} dan 4000 ppm Mg^{2+} . Pengujian dilakukan dengan cara trial and error sebanyak sepuluh kali dengan mengatur harga Δh yaitu selisih ketinggian antara permukaan larutan pada bejana bagian atas, terhadap saluran pembuangan limbah atau pengeluaran aliran pada akhir kupon setelah itu dihitung standar deviasinya. Dengan demikian alat yang dibuat mempunyai laju alir yang stabil pada Mg 30 mL/menit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Konsentrasi Mg^{2+} Terhadap Massa Kerak $MgCO_3$

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 kalsium karbonat ditunjukkan pada Gambar 6.

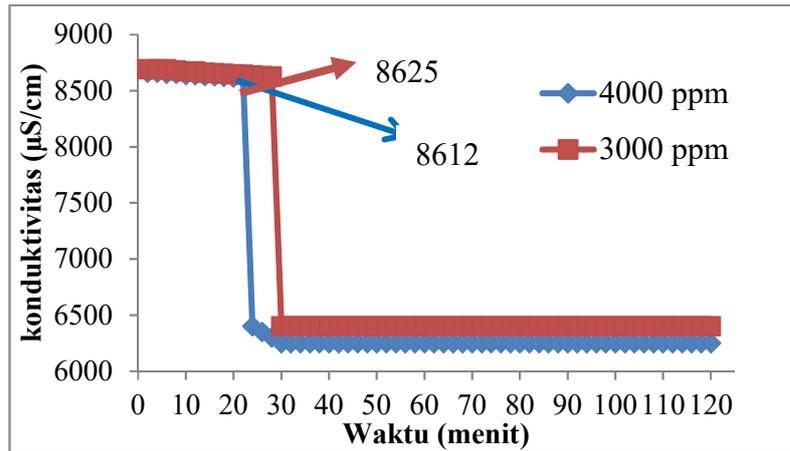


Gambar 6. Grafik hubungan antara konsentrasi Mg²⁺ larutan pada laju alir 30 mL/menit dengan massa kerak magnesium karbonat.

Pada Gambar 6., menunjukkan bahwa pada laju alir stabil 30 mL/menit pada konsentrasi larutan 4000 ppm Mg²⁺, massa kerak Magnesium karbonat yang terbentuk lebih banyak dibandingkan dengan pada konsentrasi larutan 3000 ppm Mg²⁺. Hal ini menunjukkan pada konsentrasi Mg²⁺ 4000 ppm, reaksi antara reaktan MgCl₂ dan Na₂CO₃ berjalan lebih cepat dibanding pada konsentrasi 3000 ppm. Konsentrasi Mg²⁺ yang semakin besar menyebabkan jumlah ion dalam larutan 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 3000 ppm dan 4000 ppm masing-masing menunjukkan nilai yang berbeda seperti yang terlihat pada Gambar 7. grafik hubungan antara konduktivitas dengan waktu.

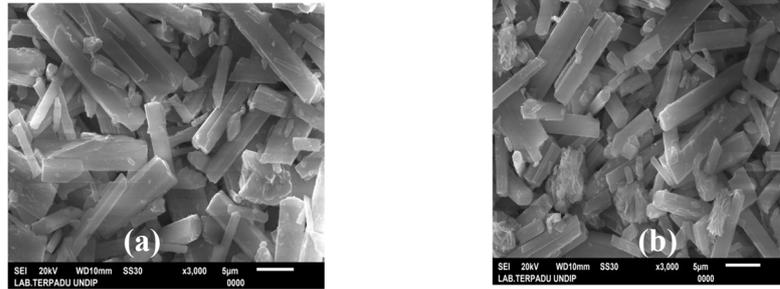


Gambar 7. Grafik hubungan konduktivitas dengan waktu

Gambar 7. merupakan grafik hubungan antara konduktivitas larutan dengan waktu penelitian variasi konsentrasi Mg^{2+} 3000 ppm dan 4000 ppm. Pada waktu tertentu terjadi penurunan secara signifikan. Titik penurunan tersebut merupakan waktu induksi. Waktu induksi untuk konsentrasi larutan 3000 ppm adalah 28 menit dengan nilai konduktivitas 8625 $\mu S/cm$ sedangkan pada konsentrasi larutan 4000 ppm memiliki waktu induksi 22 menit dengan nilai konduktivitas sebesar 8612 $\mu S/cm$. Hal ini menunjukkan proses pembentukan inti pada 4000 ppm cepat dibandingkan pada larutan 3000 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 *et al*, 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 kristal, proses pengintian serta fenomena pembentukan kristal. Hasil pengujian SEM dapat dilihat pada **Gambar 8**.

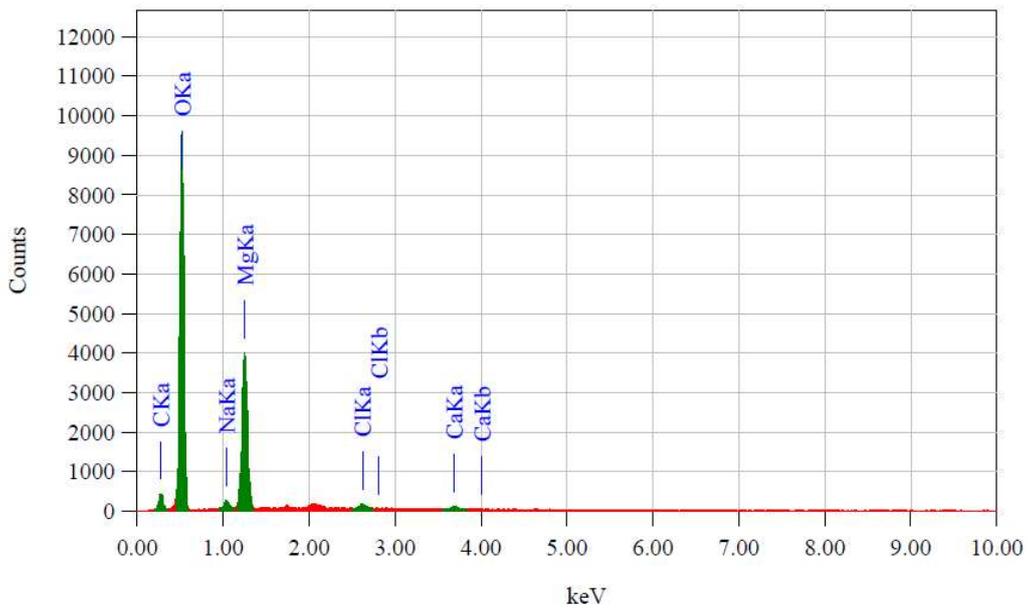


Gambar 8. Morfologi kerak Magnesium karbonat hasil percobaan dengan variasi konsentrasi larutan (a) 3000 ppm (b) 4000 ppm.

Setelah melakukan pengamatan terhadap hasil SEM yang di cantumkan pada Gambar 8. dengan perbesaran 3.000 kali. Proses pembentukan kristal yang dilakukan melalui percobaan dimana dengan menggunakan konsentrasi larutan $MgCO_3$ 3000 ppm dan 4000 ppm dengan laju alir 30 mL/menit. Gambar (a) merupakan bentuk morfologi kerak hasil uji kristalisasi dengan konsentrasi larutan 3000 ppm sedangkan Gambar (b) merupakan hasil uji kristalisasi pada konsentrasi larutan 4000 ppm. Kedua Gambar tersebut menunjukkan bentuk morfologi yang sama. Variasi konsentrasi 3000 ppm dan 4000 ppm tidak merubah morfologi kristal. Fasa kristal yang terbentuk adalah fasa magnesite 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 *et al*, 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 3000 ppm dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Gambar Hasil Analisis EDS konsentrasi larutan 3000 ppm

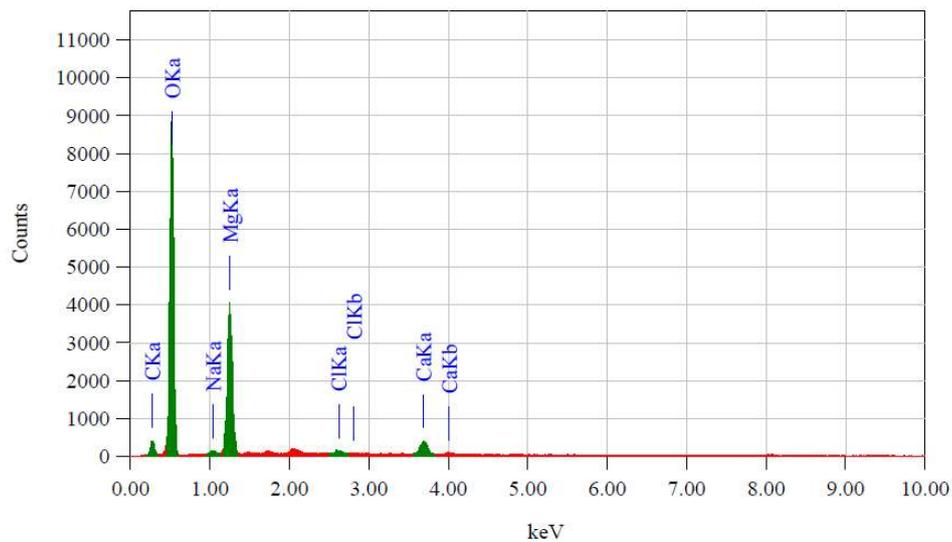
Tabel 1. Hasil analisa mikro kristal Magnesium karbonat laju alir 30 mL/menit dengan konsentrasi 3000 ppm.

Element	<i>Wt %</i>
<i>C K</i>	13,59
<i>O K</i>	41,23
<i>Mg K</i>	29,19

Tabel 2. Hasil analisa mikro kristal Magnesium karbonat laju alir 30 mL/menit dengan konsentrasi 4000 ppm.

Element	<i>Wt %</i>
<i>C K</i>	16,83
<i>O K</i>	50,26
<i>Mg K</i>	29,63

Sedangkan untuk Hasil Pengujian EDS hasil percobaan pada laju alir 30 mL/menit pada konsentrasi larutan 4000 ppm dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Gambar Hasil Analisis EDS konsentrasi larutan 4000 ppm.

Hasil analisa mikro meliputi komposisi atom pembentuk kristal yang dinyatakan dalam presentase atom. Presentase diatas bila dibandingkan dengan hitungan secara teoritis ternyata mempunyai perbedaan berat.

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 3000 ppm menghasilkan massa kerak MgCO_3 28,2 gram.
2. Semakin besar konsentrasi larutan, waktu induksi akan semakin cepat. Waktu induksi untuk konsentrasi larutan 3000 ppm adalah 28 menit dengan nilai konduktivitas $8625 \mu\text{S}/\text{cm}$ sedangkan pada konsentrasi larutan 4000 ppm memiliki waktu induksi 22 menit dengan nilai konduktivitas sebesar $8612 \mu\text{S}/\text{cm}$.
3. Dari hasil SEM antara konsentrasi 3000 ppm dan 4000 ppm terlihat morfologi dan komposisi yang hampir sama. Sedangkan uji EDX terjadi perbedaan berat (*wt %*).

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 karbonat, strontium karbonat 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
- Anonymous, 2007. **"Kristalografi"**, <https://morishige.wordpress.com/2007/09/21/kristal-kristalografi/>. Diakses tanggal 28 September 2015 pukul 21.00 WIB.
- Antony, A., Low, J. H., Gray, S., Childress, A. E., Le-Clech, P., Leslie, G. (2011). *Scala 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 Mn^{12} 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.
- Hisyam (2013). *Pembentukan kerak kalsium karbonat (caco₃) di dalam pipa beraliran laminer pada laju alir 30 ml/menit hingga 50 ml/menit dan penambahan aditif*. In Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Fakultas Teknik (Vol. 1, No. 1).
- Holysz, L., Szczes, A., Chibowski, E. (2007). *Effects of a static magnetic field on water and electrolyte solutions*. Journal of Colloid and Interface Science, 316(2), 996-1002.
- Isopescu, R., Mateescu, C., Mihai, M., Dabija, G. (2010). *The effects of organic additives on induction time and characteristics of precipitated calcium carbonate*. Chemical Engineering Research and Design, 88, 1450-1454.
- Lestari, 2008. "Identifikasi dan Karakterisasi Batu Kapur Tuban untuk Pengembangan Produk CaCO₃" Jurusan Fisika FMIPA ITS. Surabaya.
- Ma'mun, H., Bayuseno, A. P., Muryanto, S. (2013). *Pembentukan kerak kalsium karbonat (caco₃) di dalam pipa beraliran laminer pada laju alir 30 ml/menit hingga 50 ml/menit dan penambahan aditif asam malat*. In Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Fakultas Teknik (Vol. 1, No. 1).
- Muryanto, S., Bayuseno, A. P., Ma'mun, H., Usamah, M. (2014). *Calcium carbonate scale formation in pipes: effect of flow rates, temperature, and malic acid as additives on the mass and morphology of the scale*. Procedia Chemistry, 9, 69-76.
- Quddus dan Allam (2000). Hydrodinamically deposited CaCO₃ and CaSO₄ scales, Science Direct, Desalination 246: 526 – 533.

- Ratna, P., S. (2011), *Studi Penanggulangan Problem Scale Dari Near-Wellbore Hingga Flowline di Lapangan Minyak Limau*, Fakultas Teknik UI, Depok.
- Samsudi, *Cooulding CaCO₃ Scale deposition on the pump system lamunaif art low audition of citive acids.*
- Sediono, W., Bayuseno, A. P., Muryanto, S. (2011). *Eksperimen Pembentukan Kerak Gypsum Dengan Konsentrasi Ca²⁺: 3500 Ppm Dan Aditif Fe²⁺*. Momentum, 7(2).
- Siswoyo, Erna, K. (2005), *Identifikasi Pembentukan Scale*, Jurusan Teknik Perminyakan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN Veteran Yogyakarta.
- Sousa, M.F., Bertran, C.A. (2014). *New methodology based on static light scattering measurements for evaluation of inhibitors for in bulk crystallization*. Journal of Colloid and Interface Science. Pp.57-64.
- Sulaiman, Tedy, 2013. **“Kristal-Kristalografi”**, <http://jurnalapapun.blogspot.com/2014/03/pengenalan-kristal.html>. Diakses tanggal 30 September 2015 pukul 19.00 WIB.

PENULIS:

BAYU SETYA MANDELA
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Semarang