

JURNAL
PENGARUH PERLAKUAN SUHU TINGGI PADA
PEMBENTUKAN KERAK KALSIUM KARBONAT (CaCO_3)



TUGAS AKHIR

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

Disusun oleh:

KRIDHARUDIRA

C2A216019

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SEMARANG
2019

PENGARUH PERLAKUAN SUHU TINGGI PADA PEMBENTUKAN KERAK KALSIUM KARBONAT (CaCO_3)

Krida Rudiro, Dr.techn. Samsudi Raharjo, MT, MM dan
Rubijanto JP., ST, MT

Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Semarang

Email : kridarudiro@gmail.com

ABSTRAK

Dunia industri yang menggunakan sistem pemanas (heat exchanger) sering mengalami permasalahan kerak (*scaling/fouling*) sehingga menyebabkan berkurangnya diameter pipa, borosnya energi, besarnya biaya perawatan, tingginya tekanan yang ditimbulkan dan pecahnya pipa tersebut. Untuk itu diperlukan usaha pengontrolan/pertumbuhan kerak pada permukaan dalam pipa. Proses pergerakan kalsium karbonat (CaCO_3) di dalam pipa. Pengaruh variasi suhu terhadap masa kerak (CaCO_3) dan pengaruh suhu terhadap morfologi dan komposisi Kristal (CaCO_3). Proses pengerakkan dilakukan dengan eksperimen pembentukan kerak. Hasil dari penelitian tersebut adalah semakin tinggi suhu membuat kerak yang terbentuk semakin banyak pada suhu 60^0 C menghasilkan massa kerak 86,5 mg dan pada suhu 90^0 C menghasilkan massa kerak 169,4 mg. Semakin tinggi suhu membuat waktu induksi semakin cepat. Waktu induksi untuk suhu 60^0 C adalah 42 menit dengan nilai konduktivitas $8600\text{ }\mu\text{S/cm}$. Pada suhu 90^0 C menghasilkan waktu induksi 16 menit dengan nilai konduktivitas $8660\text{ }\mu\text{S/cm}$ mulai terbentuk kerak. Analisis SEM menunjukkan perbedaan morfologi antara suhu 60^0 C dan suhu 90^0 C adalah morfologi bentuk kristal. Semakin teratur dan besar, hal ini disebabkan pada kondisi suhu yang semakin tinggi kristal terbentuk, semakin ke arah hard scale.

Kata Kunci : *Kalsium Karbonat*, Pengerakan Kalsium Karbonat

A. PENDAHULUAN

Kerak didefinisikan sebagai suatu deposit senyawa-senyawa organik dan anorganik (*organic and unorganic Scale inhibitors*) yang mengendap dan membentuk timbunan kristal pada permukaan dalam pipa peralatan penukar panas yang disebabkan oleh pengkristalan ion mineral dalam air (Kemmer, 1979; Bhatia, 2003). Disamping itu, menurut Brown (1978) kristalisasi merupakan peristiwa pembentukan partikel-partikel zat padat dalam suatu fase homogen. Namun secara umum kerak dapat terjadi karena dua hal yaitu kristalisasi (kristal pada permukaan dan kristalisasi cairan homogen) dan mekanisme aliran fluida (Pervov, 1991 dan Hasan dkk, 2012). Secara kimiawi, kerak terbentuk karena perubahan komposisi ion, tingkat pH, besarnya tekanan, dan suhu. Dalam keadaan larutan lewat jenuh misalnya beberapa molekul akan bergabung membentuk inti kristal. Kristal-kristal yang terbentuk mempunyai muatan ion lebih rendah dan cenderung untuk menggumpal sehingga terbentuklah kerak (Lestari, 2008; Hasson and Semiat, 2005; Belarbi dkk, 2013).

Proses terbentuknya kerak anorganik biasa terjadi pada peralatan-peralatan industri yang melibatkan air garam seperti industri minyak dan gas, proses desalinasi dan ketel serta industri kimia (Badr dan Yassin, 2007; Lestari dkk, 2004). Terbentuknya kerak anorganik disebabkan oleh terdapatnya ion-ion mineral pembentuk kerak yang saling bereaksi membentuk kristal dalam jumlah yang melebihi hasil kali kelarutannya pada keadaan kesetimbangan. Hal ini terjadi karena sumber air memiliki banyak kandungan ion mineral. Ion mineral kerak anorganik meliputi ion kalsium (Ca^{2+}), ion magnesium (Mg^{2+}), ion Natrium (Na^+), ion Kalium (K^+), Ion Klorida (Cl^-), ion Karbonat (CO_3^{2-}), ion Sulfat (SO_4^{2-}), ion Fosfat (PO_4^{3-}). Jika hal ini dibiarkan berlanjut, maka akan mengurangi diameter pipa sehingga aliran air menjadi sangat kecil. Padatan kemudian akan menetap di dalam pipa atau pada permukaan pertukaran panas, serta pada umumnya sering membeku menjadi kerak (Bhatia, 2003 dan Amor, 2013).

Pengerakan kalsium karbonat tidak hanya fenomena kristalisasi yang terbentuk dalam proses alami (*biomineralization*), tetapi merupakan masalah yang sering ditemui dalam berbagai kegiatan industri (Setta dan Neville 2014). Hal ini disebabkan karena terdapatnya unsur-unsur pembentuk kerak seperti alkalin, kalsium, klorid, sulfat dalam jumlah yang melebihi kelarutannya pada keadaan kesetimbangan. Kerak biasanya mengendap dan tumbuh pada peralatan industri seperti *cooling tower, heat exchangers, pipe, casing manifold, tank* dan peralatan industri lainnya. Kerak merupakan suatu deposit dari senyawa-senyawa anorganik yang terendapkan dan membentuk timbunan kristal pada permukaan suatu substansi (Kiaei dan Haghtalab, 2014).

Potensi kerak yang disebabkan oleh garam CaCO_3 (kalsium karbonat) dimiliki hampir semua jenis sumber air di dunia seperti air tanah, air payau, air laut serta air limbah. Kalsium karbonat membentuk padatan atau deposit yang sangat kuat menempel pada permukaan material. Se jauh ini CaCO_3 merupakan penyebab kerak pada beberapa sistem seperti instalasi *cooling water* (Tzotzi dkk, 2007).

Faktor yang mempengaruhi terbentuknya kerak antara lain temperatur, konsentrasi Ca^{2+} , dan inhibitor. Peningkatan temperatur akan memperpendek periode induksi karena meningkatkan frekuensi tumbukan ion mineral dalam larutan. Faktor lain adalah konsentrasi Ca^{2+} . Peningkatan konsentrasi Ca^{2+} akan memperbanyak jumlah ion mineral dalam larutan sehingga jumlah tumbukan antar ion mineral pembentuk kerak akan semakin banyak.

Hoang dkk. (2007) melakukan penelitian lebih kompleks dibanding dengan penelitian yang telah dibahas sebelumnya yaitu mengkaji proses pengerakan didalam sistem yang mengalir dengan parameter proses yang lebih lengkap yaitu temperatur, laju alir dan konsentrasi larutan serta mengkaji pula pengaruh dari aditif yang digunakan. Dari hasil penelitian ini diantaranya diketahui bahwa konsentrasi larutan mempunyai hubungan yang positif dengan massa kerak yang dihasilkan, temperatur larutan juga mempunyai hubungan yang positif dengan kerak yang dihasilkan.

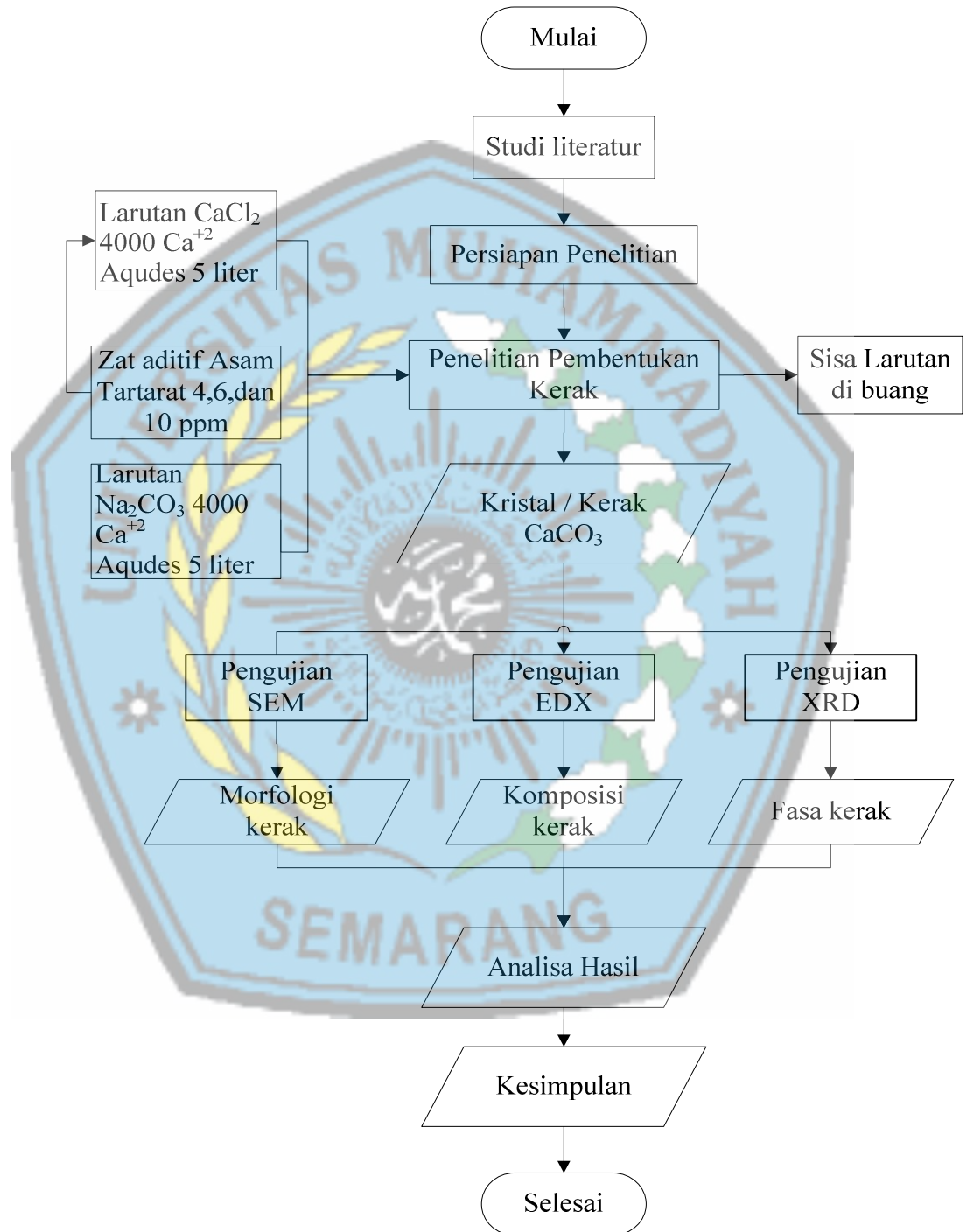
Shanmukhprasad (2014) meneliti tentang pengaruh suhu terhadap pembentukan kerak CaCO_3 . Hasil penelitian menunjukkan meningkatnya temperature mengakibatkan

kerak CaCO_3 yang terbentuk semakin banyak dan terbentuk fase calsit. Hoang dkk, (2007) melakukan penelitian dalam media larutan yang digunakan dalam kondisi mengalir melalui pipa, selanjutnya larutan CaCl_2 dan Na_2SO_4 akan bereaksi di dalam kupon. Pemanas diletakkan di dalam *batch* untuk mengatur suhu yang dikehendaki. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa massa kerak dipengaruhi oleh temperatur yaitu semakin tinggi temperatur akan menyebabkan massa kerak semakin meningkat.

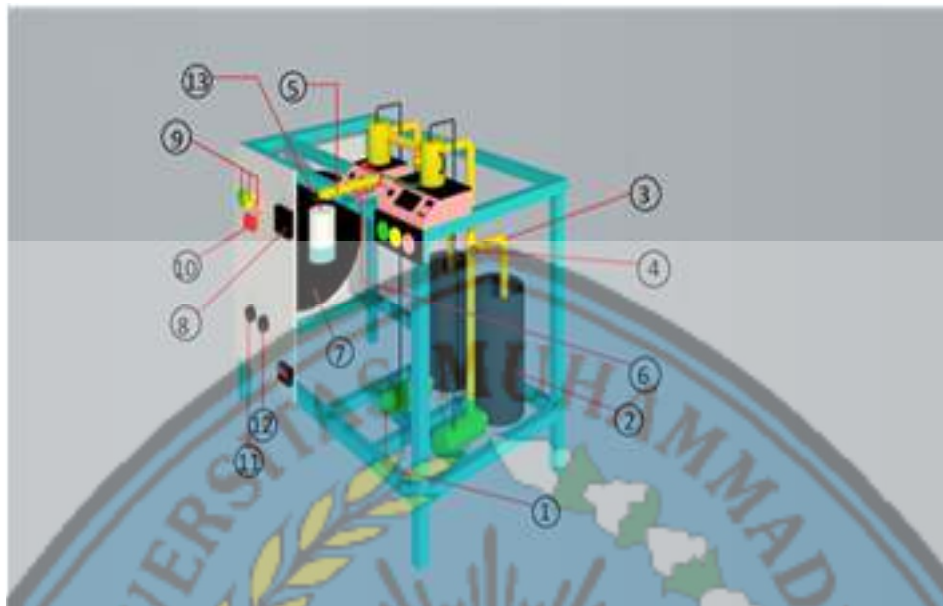


B. METODOLOGI PENELITIAN

1. Diagram Alir Penelitian



2. Alat Penelitian



- | | |
|-------------------------|-----------------------------|
| 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 Pompa |

3. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Larutan Na_2CO_3 dengan konsentrasi 4000 ppm dibuat dengan melarutkan kristal Na_2CO_3 (*Natrium Carbonate*) grade : analitik
- Larutan CaCl_2 dengan konsentrasi Ca^{+2} 4000 ppm dibuat dengan melarutkan kristal CaCl_2 (*Calcium Chloride Dihydrad*) grade : analitik
- Aquades

4. Alat Eksperimen Pembentukan kerak

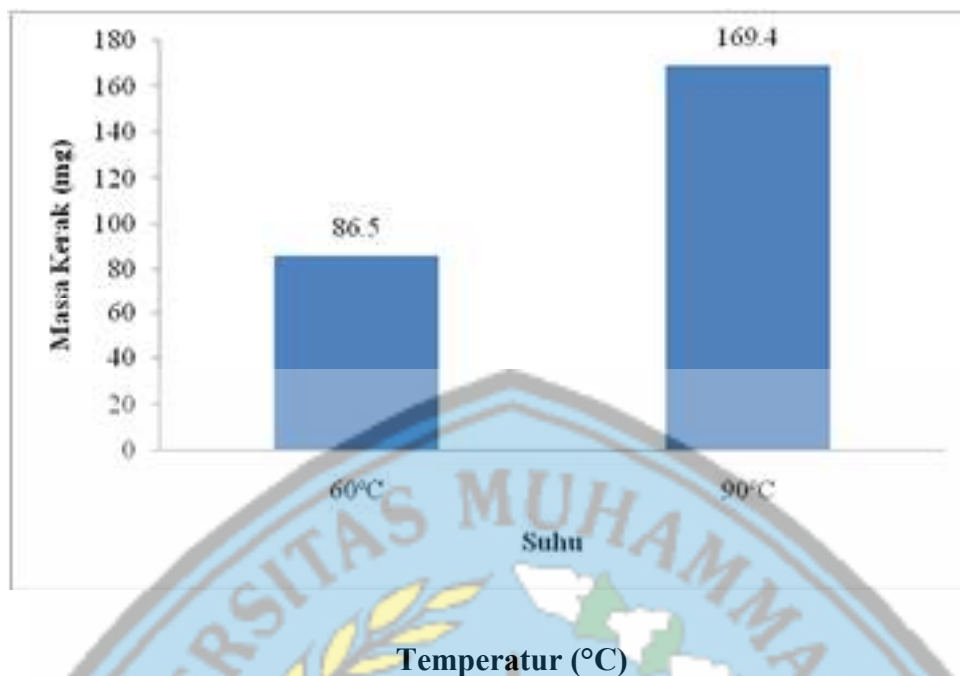
Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat yang di rancang sendiri oleh peneliti terdahulu. Alat tersebut terdiri dari empat buah bejana yaitu dua bejana dibawah (1,2) dengan kapasitas 6 liter dan dua bejana diatas (3, 4) dengan kapasitas 0,8 liter. Kegunaan bejana tersebut adalah untuk menampung larutan CaCl_2 pada bejana 1 dan 3 dan larutan Na_2CO_3 pada bejana 2 dan 4. Pada alat tersebut dipasang dua buah pompa yang digunakan untuk memompa larutan CaCl_2 dari bejana 1 ke bejana 3 dan larutan Na_2CO_3 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 CaCl_2 dan Na_2CO_3 bereaksi sehingga membentuk kerak. Kerak tersebut mengendap pada dinding-dinding kupon yang disebut sebagai kerak CaCO_3 .

C. ANALISA DAN KESIMPULAN

1. Pengaruh Suhu Terhadap Massa Kerak Kalsium Karbonat

Penelitian mengenai pengaruh suhu terhadap massa kerak Kalsium Karbonat dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh suhu terhadap pembentukan massa kerak Kalsium Karbonat. Laju alir yang digunakan dalam penelitian ini adalah 30 mL/menit dengan konsentrasi Ba^{2+} 4000 ppm. Pengaruh suhu terhadap massa kerak Kalsium Karbonat.



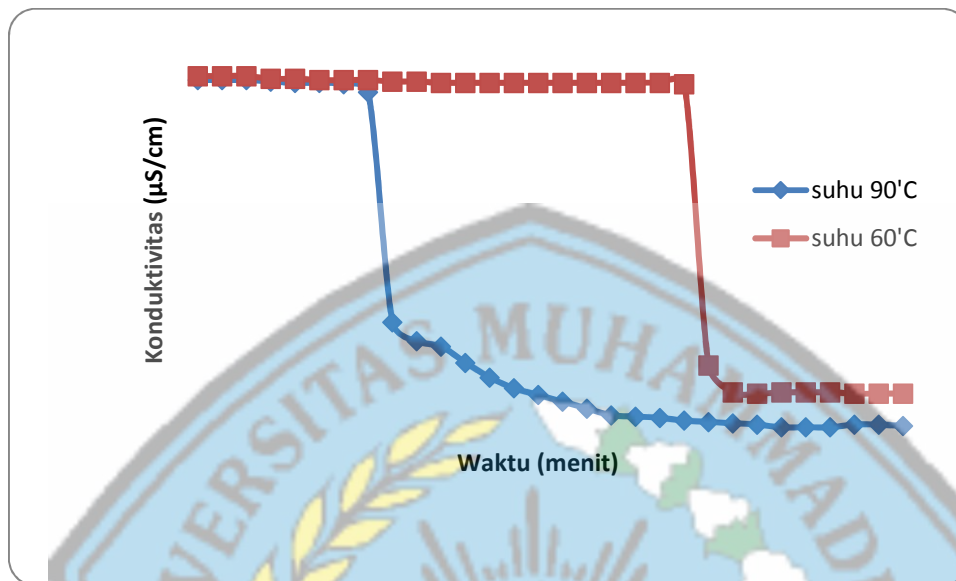
Gambar 4.1. Grafik hubungan antara suhu pada konsentrasi Ca^{2+} 4000 ppm dengan massa kerak Kalsium Karbonat

Pada Gambar 4.1, menunjukkan bahwa pada laju alir stabil 30 mL/menit dan konsentrasi Ca^{2+} 4000 ppm dengan suhu 60°C, massa kerak Kalsium Karbonat yang terbentuk lebih sedikit dibandingkan dengan pada suhu 90°C. Pada suhu 60°C dihasilkan massa kerak 86.5 mg sedangkan pada suhu 90°C dihasilkan massa kerak 169.4 mg. Ini menunjukkan pada 90°C, reaksi antara reaktan CaCl_2 dan Na_3PO_4 berjalan lebih cepat dibanding pada suhu 60°C. Suhu yang semakin besar menyebabkan jumlah tumbukan ion dalam larutan semakin banyak. Banyaknya tumbukan ion tersebut mengakibatkan jumlah laju reaksi akan meningkat sehingga kerak yang terbentuk semakin banyak (Raharjo dkk., 2016).

2. Analisa Waktu Induksi

Analisa yang dilakukan yaitu tentang waktu yang dibutuhkan oleh kristal Kalsium Karbonat untuk membentuk inti kristal pertama kali. Waktu induksi ditandai dengan menurunnya nilai konduktivitas larutan secara tajam yang menandakan bahwa ion Barium telah bereaksi dengan ion Fosfat dan mengendap membentuk kerak. Waktu induksi untuk suhu 40°C dan 60°C masing-masing

menunjukkan nilai yang berbeda seperti yang terlihat pada Gambar 4.2. Grafik hubungan antara konduktivitas dengan waktu.



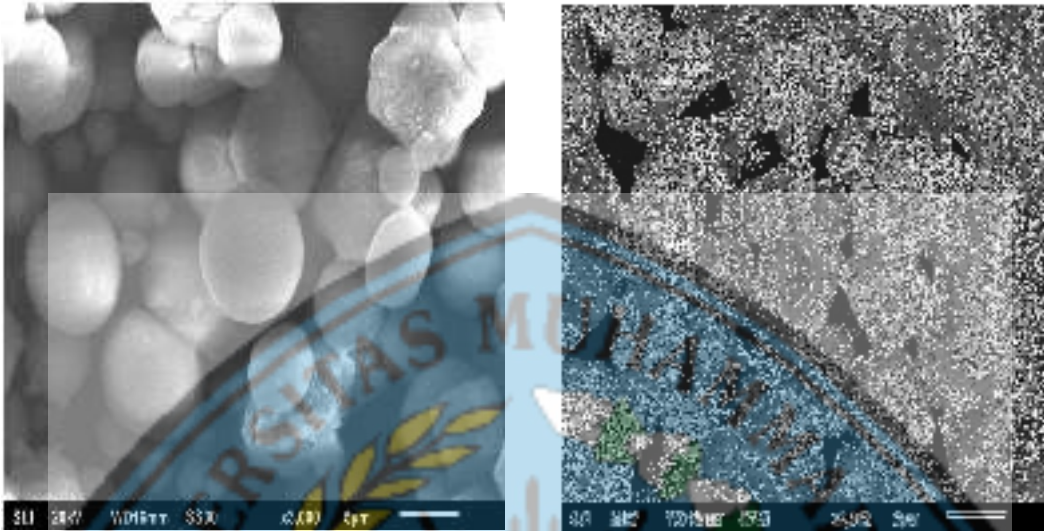
Gambar 4.2 Grafik hubungan konduktivitas dengan waktu

Gambar 4.2 merupakan grafik hubungan antara konduktivitas larutan dengan waktu penelitian variasi suhu 60°C dan 90°C. Pada waktu tertentu terjadi penurunan secara signifikan. Titik penurunan tersebut merupakan waktu induksi. Waktu induksi suhu 60°C memiliki waktu induksi 42 menit dengan nilai konduktivitas sebesar 8600 $\mu\text{S/cm}$. Pada suhu 90°C menghasilkan waktu induksi 16 menit dengan nilai konduktivitas 8660 $\mu\text{S/cm}$. Hal ini menunjukkan semakin besar suhu, semakin cepat pula waktu induksi yang terjadi. Semakin kecil waktu induksi berarti semakin cepat inti kristal Kalsium Karbonat terbentuk (Muryanto dkk, 2014).

3. Pengujian SEM

Pengujian SEM dan pengujian *microanalyser* bisa dilakukan pada suatu instrumen yaitu dengan menggunakan perangkat SEM/EDX. Pengujian SEM dilakukan untuk mengkaji morfologi kristal sedangkan pengujian *microanalyser* bertujuan untuk mengetahui komposisi Kalsium Karbonat ((Ba₃(PO₄)₂). Kajian morfologi adalah kajian yang meliputi kekasaran kristal, ukuran kristal, bentuk

kristal, proses pengintian serta fenomena pembentukan kristal. Hasil pengujian SEM pada suhu 60°C dan 90°C dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Morfologi kerak Kalsium Karbonat pada perbesaran 3000x dengan variasi suhu ((a) 60°C dan (b) 90°C)

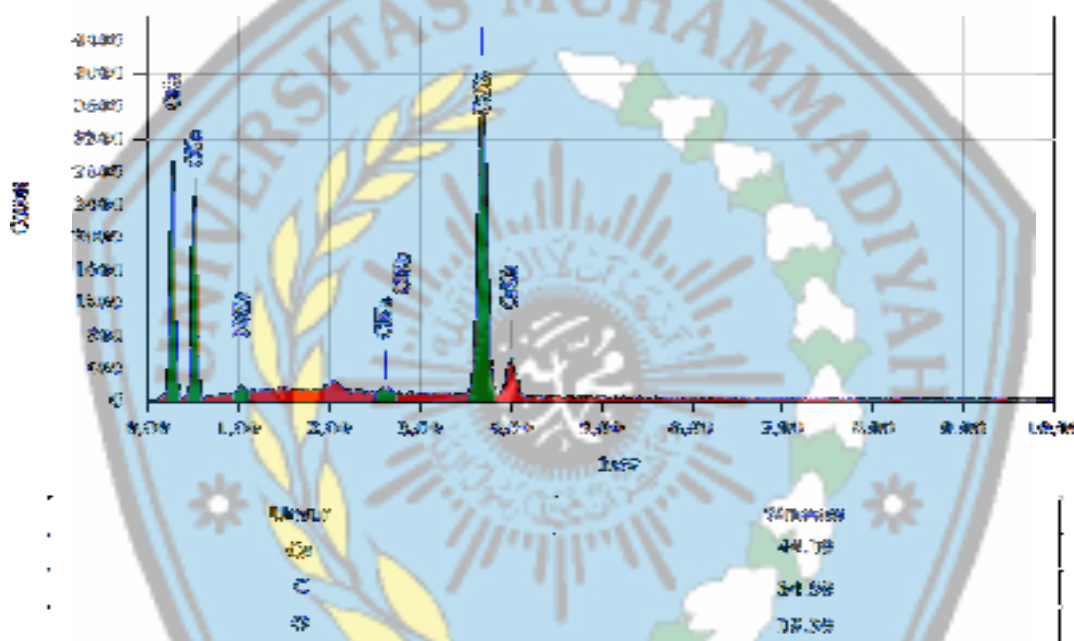
Setelah melakukan pengamatan terhadap hasil SEM yang di cantumkan pada Gambar 4.3 dengan berbagai perbesaran. Proses pembentukan kristal yang dilakukan melalui percobaan dimana dengan menggunakan konsentrasi larutan Kalsium Karbonat 4000 ppm dan laju alir 30 mL/menit dengan variasi suhu 60°C, dan 90°C. Pada suhu 90°C menunjukan bentuk morfologi kristal CaCO_3 berbentuk kubus sedangkan pada suhu 60°C kristal CaCO_3 masih berbentuk granul bulatan. Hal ini menunjukan pembentukan kristal CaCO_3 pada suhu 90°C membentuk fase kalsit yang bersifat *hardscale* sedangkan pada suhu 60°C masih membentuk fase aragonite yang bersifat *softscale*. Perbedaan morfologi antara suhu tersebut adalah semakin tinggi suhu, semakin besar ukuran dan teratur morfologi kristal.

Dari kedua hasil uji SEM tersebut menandakan bahwa suhu yang lebih besar mampu meningkatkan pembentukan fasa kalsit 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 yaitu *barringtonite*, *nesquehonite* dan *nesquehonite* merupakan jenis *softscale* yang

lebih mudah dibersihkan apabila menempel pada dinding dalam pipa (Holysz dkk, 2007).

4. Pengujian EDX

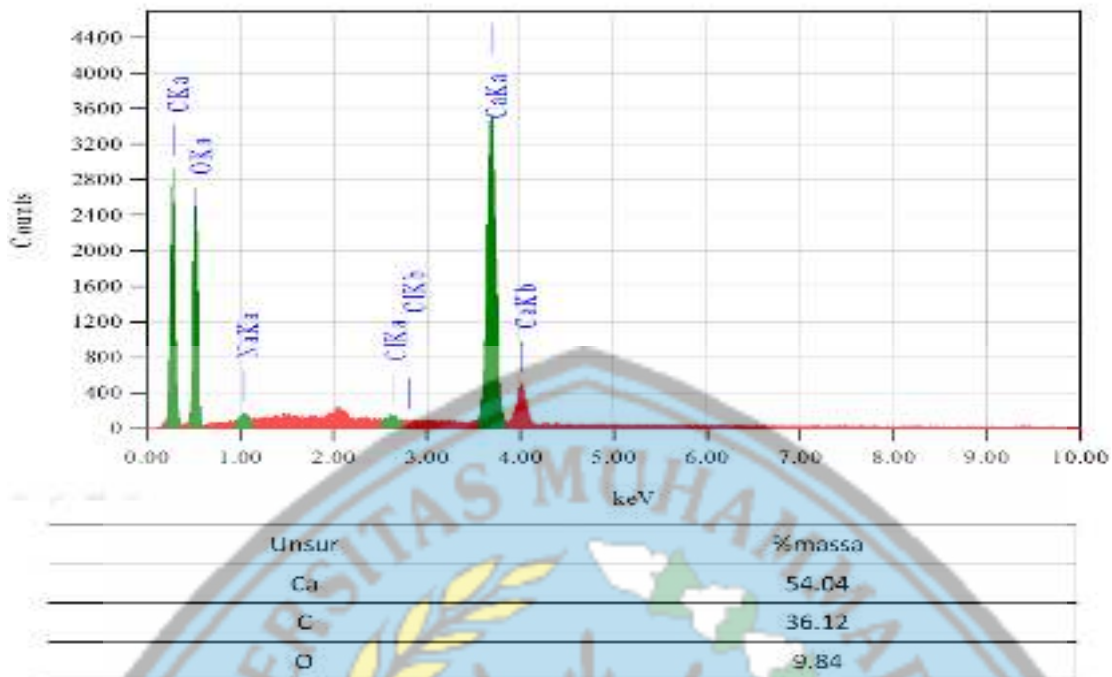
Pada prinsipnya mikroskop elektron dapat mengamati morfologi, struktur mikro, komposisi, dan distribusi unsur. Untuk menentukan komposisi unsur secara kualitatif dan kuantitatif perlu dirangkaikan satu perangkat alat EDX (*Energy Dispersive X-ray Spectrometer*). Hasil Pengujian EDX suhu 60°C percobaan pada laju alir 30 mL/menit pada konsentrasi 3000 ppm dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Gambar Hasil Analisis EDX suhu 60°C

Menurut perhitungan teoritis presentase berat kandungan Ca pada CaCO_3 seharusnya adalah $40/100 \times 100\% = 40\%$ sedangkan hasil analisa mikro kandungan Ca = 44,10%. Untuk kadar carbon (C) seharusnya $12/100 \times 100\% = 12\%$ sedangkan hasil analisa mikro 34.5%. Untuk kadar Oksigen (O) seharusnya $16/100 \times 100\% = 16\%$ sedangkan hasil analisa mikro 18.3%.

Sedangkan untuk Hasil Pengujian EDX hasil percobaan pada suhu 90°C laju alir 30 mL/menit dan konsentrasi larutan 4000 ppm dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Gambar Hasil Analisis EDX pada suhu 90°C

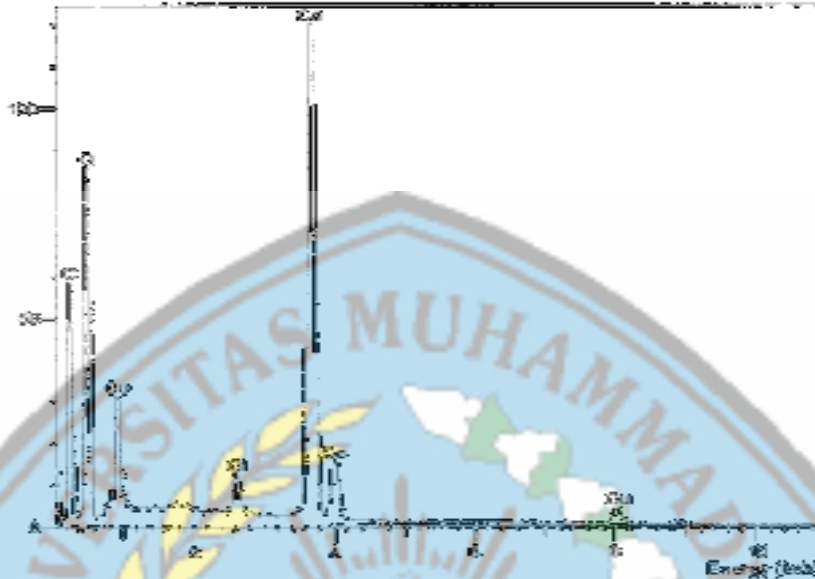
Menurut perhitungan teoritis presentase berat kandungan Ca pada CaCO_3 seharusnya adalah $40/100 \times 100\% = 40\%$ sedangkan hasil analisa mikro kandungan Ca = 54,04%. Untuk kadar carbon (C) seharusnya $12/100 \times 100\% = 12\%$ sedangkan hasil analisa mikro 36.12%. Untuk kadar Oksigen (O) seharusnya $16/100 \times 100\% = 16\%$ sedangkan hasil analisa mikro 9.84%.

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

Perbedaan hasil analisa mikro ini diakibatkan oleh beberapa sebab yaitu :

1. Adanya konsentrasi larutan dengan variabel suhu 60°C dan 90°C sehingga proporsi Kalsium Karbonat mengalami perubahan.
2. Adanya kandungan natrium dan klorid dalam kristal sehingga berpengaruh komposisi kristal.

Untuk mengetahui kebenaran hasil mikro peneliti membandingkan dengan grafik analisa EDX dari kristal CaCO_3 yang telah diteliti oleh Barbara dkk (1999). Hasil EDX yang dimaksud ditunjukkan yaitu pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Analisa EDS CaCO_3 (Barbaradkk, 1999)

Tabel 4.1. Selisih antara teoritis dengan hasil analisa

Element	Teoritis Wt %	Analisa Mikro Wt%	Selisi Wt%
O	48	51.38	3,38 (lebih besar)
C	12	18.10	6,1 (lebih besar)
Ca	40	47.37	7,37 (lebih besar)

Hasil analisa menunjukan adanya perbedaan antara teoritis dengan analisa mikro ya dilakukan dengan alat SEM EDX, adapun perbedaan tersebut diakibatkan adanya kandungan – kandungan seperti: Cu dan Zn.

D. KESIMPULAN

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

1. Semakin tinggi suhu membuat kerak yang terbentuk semakin banyak. Pada suhu 30°C menghasilkan massa kerak 36,12 mg, dan pada suhu 50°C menghasilkan massa kerak 104,25 mg.
2. Semakin tinggi suhu waktu induksi semakin cepat. Waktu induksi untuk suhu 30°C adalah 48 menit dengan nilai konduktivitas 8664 $\mu\text{S/cm}$ mulai menurun nilai pada suhu 50°C menghasilkan waktu induksi 26 menit dengan nilai konduktivitas 8760 $\mu\text{S/cm}$.
3. Dari hasil SEM antara perbedaan morfologi antara suhu 30°C, dan 50°C adalah morfologi bentuk kristal semakin teratur dan besar. Hal ini disebabkan pada kondisi suhu yang semakin tinggi kristal yang terbentuk semakin ke arah hard scale.
4. Dari hasil SEM dan EDX dengan variasi suhu 30°C dan 50°C terlihat perbedaanya yaitu bentuk berubah menjadi semakin jelas, hal ini karena peningkatan suhu dapat membuat bentuk kristal Barium Fosfat ($\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$) menjadi terbentuk sepenuhnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Alice Antony, Jor How Low, Stephen Gray, Amy E. Childress, Pierre Le-Clech, Greg Leslie., 2011, 'Scale formation and control in high pressure membrane water treatment systems', *Journal Elsevier Journal of Membrane Science*, Vol 383, pp: 1-16.
- Amor, M. B., Zgolli, D., Tlili, M. M., Manzola, A. S., 2004, 'Influence of water hardness, substrate nature and temperature on heterogeneous calcium carbonate nucleation', *Desalination*, Vol 166, pp: 79-84.
- Asnawati, 2001, 'Pengaruh temperatur terhadap reaksi fosfonat dalam inhibitor kerak pada sumur minyak', *Jurnal ILMU DASAR*, Vol.2 (1).
- Azimi G, and Papangelakis V.G., 2010, 'Thermodynamic modeling and experimental measurement of calcium sulfate in complex aqueous solutions', *Journal Fluid Phase Equilibria*, Vol 290, pp: 88-94.
- Basim O. Hasan, Graham J. Nathan, Peter J. Ashman, Richard A. C., 2012, 'The Effects of temperature and Hydrodynamics on The Crystallization Fouling Under Cross Flow Conditions', *Journal applied Thermal Engineering*, Vol 36, pp: 210-218.
- Dibyo S., 2005. *Pemodelan Water Treatment Pendingin Sekunder Rsg-Gas*. Pusat Pengembangan Tcknologi Reaktor Riset-Batan. ISSN 0854-5278
- Gourdon, 2011 'The Effects of Flow Velocity on Crystallization Fouling in Falling FilmBlack Liquor Evaporators', *Proceeding of International Conference on Heat Exchanger Fouling and Cleaning*, Vol 4, pp: 23-30.
- Holysz, L., Szczes, A., Chibowski, E., 2007, 'Effects of a static magnetic field on water and electrolyte solutions', *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol 316 (2), pp: 996-1002.
- Isopescus, R., Mateescu, C., Mihai, M., and Dabija, G., 2010, 'The Effects of organic additives on induction time and characteristics of precipitated calcium carbonate', *Chemical Engineering Research and Design*, Vol 88 (11), pp: 1450-1454.
- Mullin J.W., 2004, *Crystallization*. Butterworth Heinemann : Boston, MA. Vol 280, pp:185-198.
- Mullin, J.W. and Raven, K. D., 1961, 'b. Influence of Mechanical agitation on the nucleation of some aqueos salt solutions', *Nature*, Vol 195, pp: 35-38.

- Muryanto S., Bayuseno A.P., Sediono W., Mangestiyono W and Sutrisno, 2014, 'Development of a versatile laboratory project for scale formation and control', *Education for Chemical Engineers*, Vol 7, pp: 78-84.
- Muryanto, S., Bayuseno, AP., Ma'mun, H., Usamah, M., Jotho, 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*, Vol 9, pp: 69-76
- Paakkonen, T.M., M.Riihimaki., C.J.Simonson., E.Muurinen, R.Lkeiski, 2012, 'Crystallisation of CaCO_3 -Analysis of Experimental Thermal Resistance and its uncertainty', *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol 55, pp: 6927-6937.
- Rabizadeh, T., Caroline.,Reacock, Liane G. B., 2014, 'Carboxilic acid : Effective for Calcium Sulfate Precipitation', *Mineralogical Magazine*, Vol 78 (6), pp: 1465-1472.
- Raharjo S. Muryanto S., J. Jamari, A.P Bayuseno, 2016, 'Modeling and optimization of CaCO_3 precipitated from laminar-flow water in the presence of citric acid at an elevated temperature', *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol 11 (15), pp: 8533-8539.
- Raharjo S., A.P. Bayuseno, , J. Jamarib, M. Muryanto, S., 2016, 'Calcium carbonate scale formation in copper pipes on laminar flow', *Matec web of conferences*, 58, 01029.
- Shanmukhaprasad Gopi, K Palanisamy and V. K Subramanian, 2013, 'Aragonite-calcite-vaterite: A temperature influenced sequential polymorphic transformation of CaCO_3 in the presence of DTPA', *Materials Research Bulletin*, Vol 48, pp: 1906-1912.
- Suharso,B. S. Bahri and T. Endaryanto, 2010, 'The Use of Gambier Extracts from West Sumatra as a Green Inhibitor of Calcium Sulfate (CaSO_4) Scale Formation', *Asian Journal Research Chemistry*, Vol 1 (3), pp: 183-187.
- Tang, H., Kambris, Z., Lemaitre, B., Hashimoto, C., 2008, *A serpin that regulates immune melanization in the respiratory system of Drosophila*.
- Tzotzi, C., Pahiadaki, T., Yiantsios, S.G., Karabelas, A.J., Andritsos, N., 2007, 'A study of CaCO_3 skala formation and inhibition in RO and NF membrane processes', *Journal of Membrane Science*, Vol 296 (1), pp: 171-184.
- Zhang Y., 2002, 'Nucleation and Growth Kinetics in Synthesizing nanometer calcite', *Journal of Crystal Growth*, Vol 245, pp: 309-320.
- Zhen Wu, Jane H D, Lorraine F. 2010. Effect of water chemistry on Calcium Carbonate deposition on metal and polymer surfaces, J. Colloid and interfacescience. 2010; 343 : 17-187

