

JURNAL
ANALISA KINETIKA KERAK BARIUM FOSFAT PADA SUHU 40°C DAN 60°C
DALAM SISTEM PENDINGIN



TUGAS AKHIR

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

Disusun oleh:

Dwi Hendrawan Fahrudin

C2A216020

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SEMARANG
2019**

ANALISA KINETIKA KERAK BARIUM FOSFAT PADA SUHU 40°C DAN 60°C DALAM SISTEM PENDINGIN

Dwi Hendrawan F, Dr. Samsudi Raharjo, M.T, MM dan
Dr. Dini Cahyandari, ST, MT

Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Semarang Email:
dwi.hendrawan93@gmail.com

ABSTRAK

Proses alami dari reaksi kimia antara kandungan-kandungan yang terkandung atau terlarut di dalam air dalam suatu pergerakan sistem kerja yang mengakibatkan timbulnya kerak sehingga terjadi kerugian di dalam sistem. Salah satunya komponennya adalah Barium Fosfat $Ba_3(PO_4)_2$. Fenomena pengerakan sering dijumpai di sistem perpipaan industri maupun pada sistem pendingin. Penyumbatan yang dihasilkan dari proses pengerakan menimbulkan masalah teknis maupun ekonomis. Hal ini disebabkan karena terdapatnya unsur-unsur pembentuk kerak seperti besi dan karbonat dalam jumlah yang melebihi kelarutannya pada peralatan berat. Kerak biasanya mengendap dan tumbuh pada peralatan industri seperti pada pipa pipa system pendingin. Kerak merupakan suatu deposit dari senyawa-senyawa anorganik yang terendapkan dan membentuk timbunan kristal pada permukaan suatu substansi. Kerak merupakan suatu deposit dari senyawa-senyawa anorganik yang terendapkan dan membentuk timbunan kristal pada permukaan suatu substansi. Hal ini disebabkan karena terdapatnya unsur-unsur pembentuk kerak seperti alkalin, magnesium, kalsium, klorid, sulfat dalam jumlah yang melebihi kelarutannya pada keadaan kesetimbangan. Kerak biasanya mengendap dan tumbuh pada peralatan industri dan rumah tangga yang memanfaatkan pergerakan fluida untuk proses kerjanya.

Kata Kunci: *Kerak, Barium Fosfat*

PENDAHULUAN

Di dalam instalasi pendingin suatu industri, umumnya dilengkapi dengan unit penukar kalor dikirim menuju ke menara pendingin. Proses pendinginan secara umum adalah air panas dari alat penukar kalor dikirim menuju ke menara pendingin untuk melepas kalor ke udara. Pelepasan kalor tersebut disertai dengan penguapan air secara kontinyu sehingga volume air pendingin berkurang. Disamping itu mineral terlarut di dalam air pendingin lambat laun dapat mengalami pemekatan atau kenaikan konsentrasi akibat penguapan tersebut. Konsentrasi yang sudah melewati angka saturasi akan bertendensi terjadinya scale (kerak) di jaringan permukaan pipa pendingin sekunder. Sebagaimana diketahui bahwa kehadiran kerak di dalam sistem pendingin harus dihindari secara dini. Dalam hal kimia air, masalah ini merupakan keadaan yang normal sehingga untuk mengatasinya maka sistem menara pendingin "selalu" menggunakan sistem aliran blow-down. Dengan demikian kandungan mineral yang tinggi di dalam air pendingin dapat di kendalikan. Sementara itu penambahan (make-up) air lazim juga dilakukan untuk menjaga volume air pendingin akibat penguapan, drift flow maupun blow-down aliran (Diby, 2015).

Potensi kerak yang disebabkan oleh garam $\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$ (Barium Fosfat) dimiliki hampir semua jenis sumber air di dunia seperti air tanah, air payau, air laut serta air limbah. Barium Fosfat membentuk padatan atau deposit yang sangat kuat menempel pada permukaan material. Sejauh ini $\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$ merupakan 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 (Sousadan Bertran, 2014).

Demikian halnya sistem pendingin, blow-down dan make-up air pendingin senantiasa dilakukan. Proses blow-down berjalan secara otomatis bilamana konduktivitas listrik air pendingin melebihi 950 ms/m. Instrumen yang terpasang pada pipa hisap/suction telah lama tidak berfungsi sehingga aliran blowdown dilakukan secara manual. Keadaan seperti ini merupakan hal yang mendesak dan perlu kiranya mendapat perhatian, mengingat bahwa blow-

down secara manual memiliki kelemahan dan ketidakpastian. Ketergantungan tenaga manusia yang bekerja memantau kualitas air secara rutin masih berlangsung. Terbuka kemungkinan terjadinya pencapaian batas konsentrasi maksimum sebelum pengambilan sampel air dilakukan. Tentu saja zat terlarut yang sudah mencapai saturasi akibat kandungan mineral yang tinggi harus dihindari.

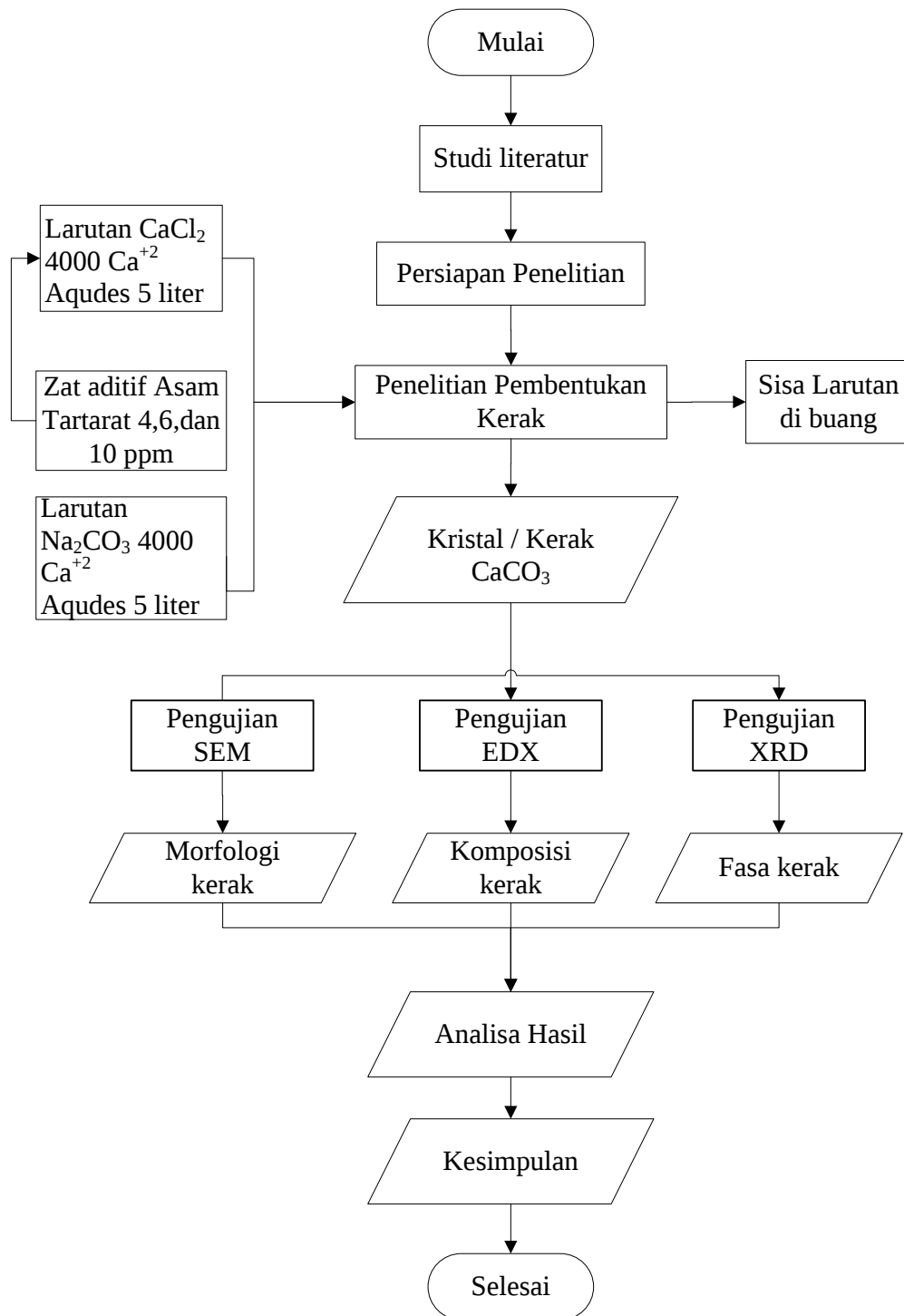
Oleh karena itu, pada penelitian ini mempelajari kinetika pembentukan massa kerak Barium Fosfat dalam sistem pendingin, diharapkan mampu menghambat laju pertumbuhan kerak Barium Fosfat yang terbentuk di dalam pipa-pipa sistem pendingin. Penelitian ini juga mempelajari pengaruh suhu terhadap waktu induksi, mengetahui perubahan mikrosruktur kristal meliputi morfologi dan komposisi Kristal Barium Fosfat.

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Larutan Na_3PO_4 dengan konsentrasi 3000 ppm dibuat dengan melarutkan kristal Na_3PO_4 (*Sodium Phosphate*) grade : analitik
- Larutan BaCl_2 dengan konsentrasi Ba^{+2} 3000 ppm dibuat dengan melarutkan kristal BaCl_2 (*Calcium Chloride Dihydrad*) grade : analitik
- Aquades

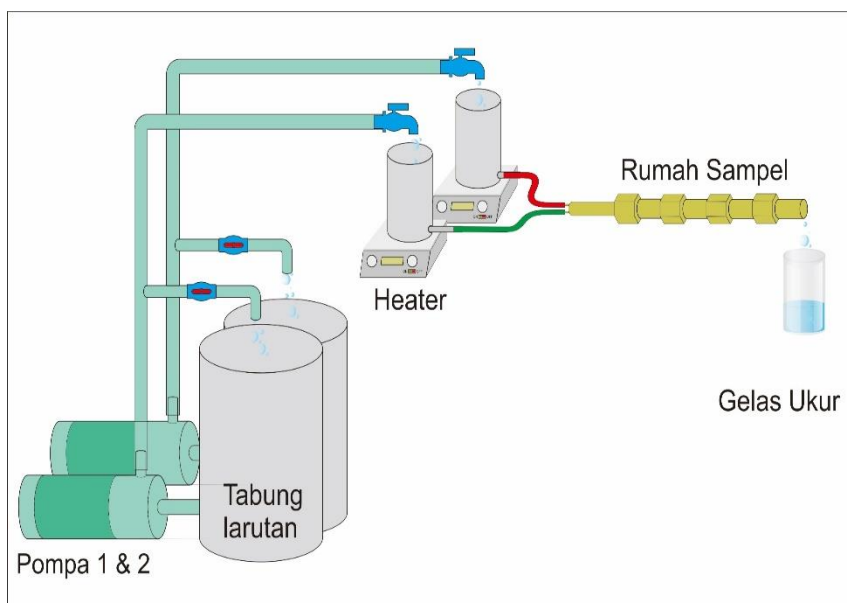


Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Alat Eksperimen Pembentukan kerak

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat yang di rancang sendiri oleh peneliti terdahulu(penelitian Raharjo.S). 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 BaCl_2 pada bejana 1 dan 3 dan larutan Na_3PO_4 pada bejana 2 dan 4. Pada alat tersebut dipasang dua buah pompa yang digunakan untuk memompa larutan BaCl_2 dari bejana 1 ke bejana 3 dan larutan Na_3PO_4 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.

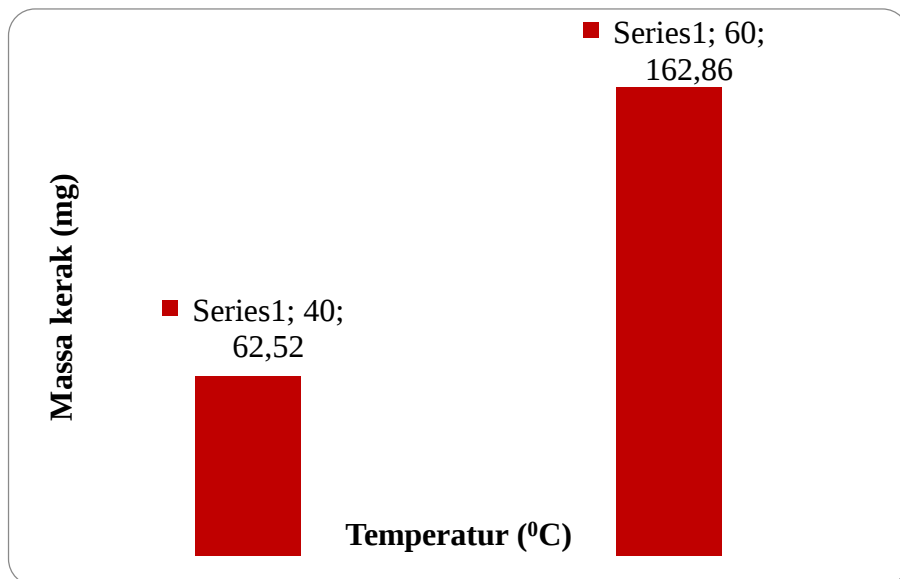
Larutan yang berada didalam bejana 3 dan 4 kemudian secara bersamaan dialirkan menuju kupon, selanjutnya larutan tersebut mengalir dan masuk kedalam bejana penampungan yang kemudian dibuang sebagai limbah. Didalam kupon-kupon larutan BaCl_2 dan Na_2PO_4 bereaksi sehingga membentuk kerak. Kerak tersebut mengendap pada dinding-dinding kupon yang disebut sebagai kerak $\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$.



Gambar : 2 Skema *Closed Circuit Scale Simulator*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian mengenai pengaruh suhu terhadap massa kerak Barium Fosfat dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh suhu terhadap pembentukan massa kerak Barium Fosfat. Laju alir yang digunakan dalam penelitian ini adalah 30 mL/menit dengan konsentrasi Ba^{2+} 3000 ppm. Pengaruh suhu terhadap massa kerak Barium Fosfat ditunjukkan pada Gambar 3.



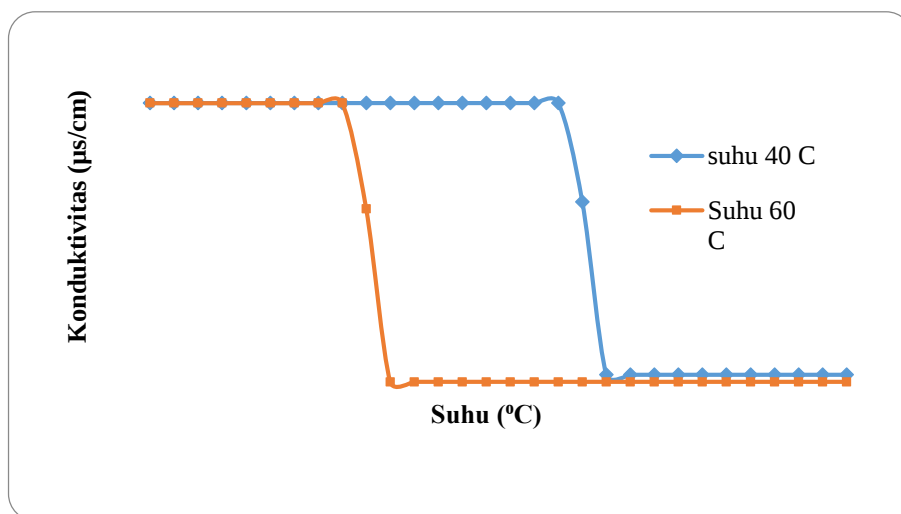
Gambar 3. Grafik hubungan antara suhu pada konsentrasi Ba^{2+} 3000 ppm dengan massa kerak Barium Fosfat.

Pada Gambar 3, menunjukkan bahwa pada konsentrasi Ba^{2+} 3000 ppm dengan suhu 40°C , massa kerak Barium Fosfat yang terbentuk lebih sedikit dibandingkan dengan pada suhu 60°C . Ini menunjukkan pada 60°C , reaksi antara reaktan BaCl_2 dan Na_3PO_4 berjalan lebih cepat dibanding pada suhu 40°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).

Analisa Waktu Induksi

Analisa yang dilakukan yaitu tentang waktu yang dibutuhkan oleh kristal Barium Fosfat 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 4.4. Grafik hubungan antara konduktivitas dengan waktu.



Gambar 4. Grafik hubungan konduktivitas dengan waktu

Gambar 4. merupakan grafik hubungan antara konduktivitas larutan dengan waktu penelitian variasi suhu 40°C dan 60°C . Pada waktu tertentu terjadi penurunan secara signifikan. Titik penurunan tersebut merupakan waktu induksi. Waktu induksi suhu 40°C memiliki waktu induksi 36 menit dengan nilai konduktivitas sebesar $8660 \mu\text{S/cm}$. Pada suhu 60°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 Barium Fosfat terbentuk (Muryanto dkk, 2014).

Analisa Kinetika Pembentukan Kerak

Kinetika kristalisasi Barium Fosfat dapat dijelaskan oleh persamaan laju berikut (Vyazoskin, 2000):

$$d\alpha/dt = K(T) f(\alpha) \quad (4.1)$$

Keterangan:

K adalah konstanta laju reaksi tergantung suhu, $f(\alpha)$ adalah model reaksi, t adalah waktu.

Tetapi laju reaksi konstanta K diberikan oleh persamaan berikut :

$$K(T) = K_0 \exp. (-E_a / RT) \quad (4.2)$$

Keterangan:

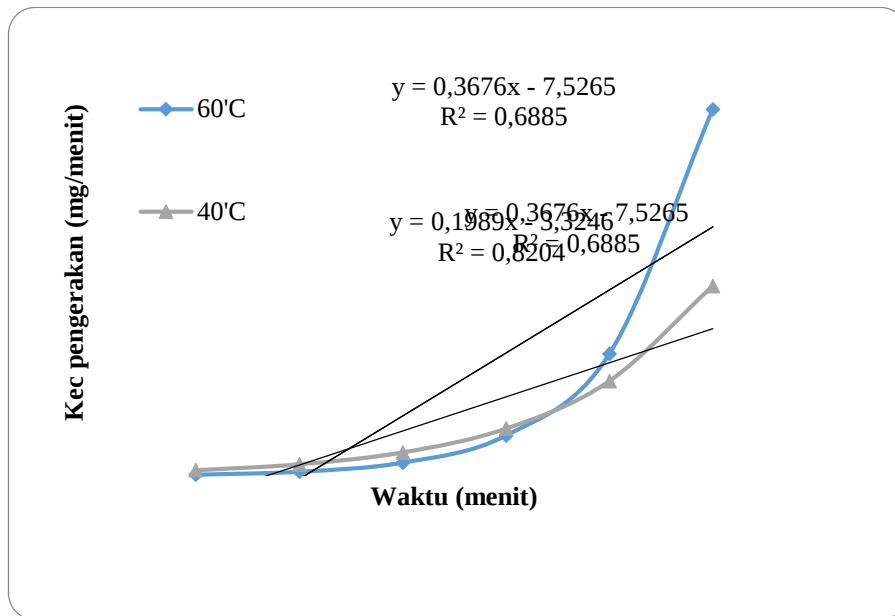
K_0 adalah faktor pre-eksponensial laju konstan, E adalah energi aktivasi, T adalah suhu dan R bersifat universal gas konstan (Jankovic, 2008; Won et al, 2000; Heireche et al, 2007).

Kecepatan reaksi dan suatu reaksi tergantung pada jumlah tabrakan antara molekul-molekul pereaksi yang terjadi tiap satuan waktu. Makin besar jumlah tabrakan ini, maka semakin besar pula kecepatan reaksi. Salah satu cara untuk memperbesar jumlah tabrakan ialah dengan menaikkan jumlah molekul persatuan volume, sehingga kemungkinan terjadinya tabrakan antara molekul-molekul akan bertambah besar pula. Ungkapan matematik yang memberikan hubungan antara kecepatan reaksi dan konsentrasi pada temperatur tetap di sebut Hukum Kecepatan Reaksi. Bagi reaksi elementer, kecepatan reaksi pada setiap waktu berbanding lurus dengan konsentrasi zat-zat pereaksi pada saat itu. Reaksi jenis ini, hukum kecepatan reaksinya dapat langsung diturunkan dari persamaan stokiometri. Grafik hubungan antara waktu dengan laju reaksi ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 5.

Tabel 1 Pengaruh Suhu Terhadap Kecepatan Pengerakan

Suhu	waktu (menit)	kec pengkerakan (mg/min)
40	10	0.34632
	20	0.69263
	30	1.38526
	40	2.77053
	50	5.54105
	60	11.08210
60	10	0.08799
	20	0.26398
	30	0.79195
	40	2.37586
	50	7.12757
	60	21.38270

Berdasarkan Tabel 1 dapat dibuat grafik hubungan antara waktu dengan kecepatan pergerakan tiap variabel suhu. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik hubungan antara waktu dengan laju reaksi

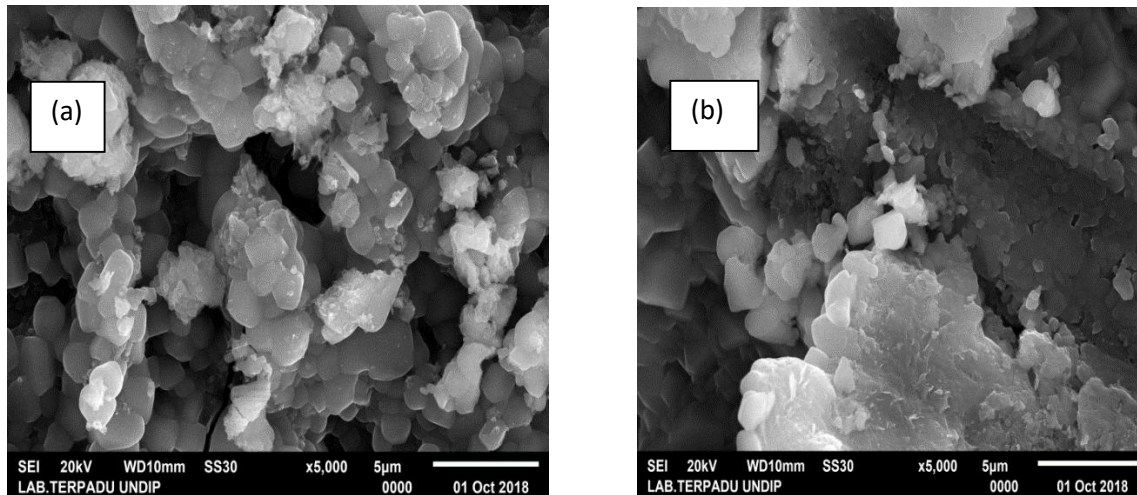
Gambar 5. menunjukkan pengaruh waktu terhadap laju reaksi. Berdasarkan grafik tersebut dapat diperoleh dari persamaan linear. Konstanta persamaan nilai dapat ditentukan dengan persamaan:

$$1/A \, dm/dt = kt + C \quad (4.3)$$

Pengujian SEM

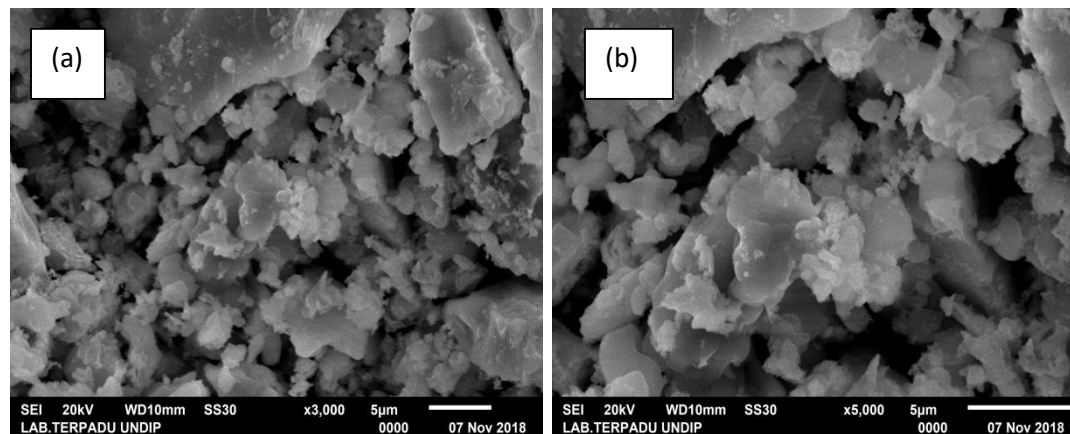
Pengujian SEM dan pengujian *microanalyser* bisa dilakukan pada suatu instrumen yaitu dengan menggunakan perangkat SEM/EDX. Pengujian SEM dilakukan untuk mengkaji morfologi kristal sedangkan pengujian *microanalyser* bertujuan untuk mengetahui komposisi Barium Fosfat ($(Ba_3(PO_4)_2)$). Kajian morfologi adalah kajian yang meliputi kekasaran kristal, ukuran kristal, bentuk kristal, proses pengintian serta fenomena pembentukan kristal.

Hasil pengujian SEM pada suhu 40°C dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Morfologi kerak Barium Fosfat hasil percobaan dengan variasi suhu 40°C dengan berbagai perbesaran (a) 3000X, (b) 5000X

Hasil pengujian SEM pada suhu 60°C ditunjukkan pada Gambar 7

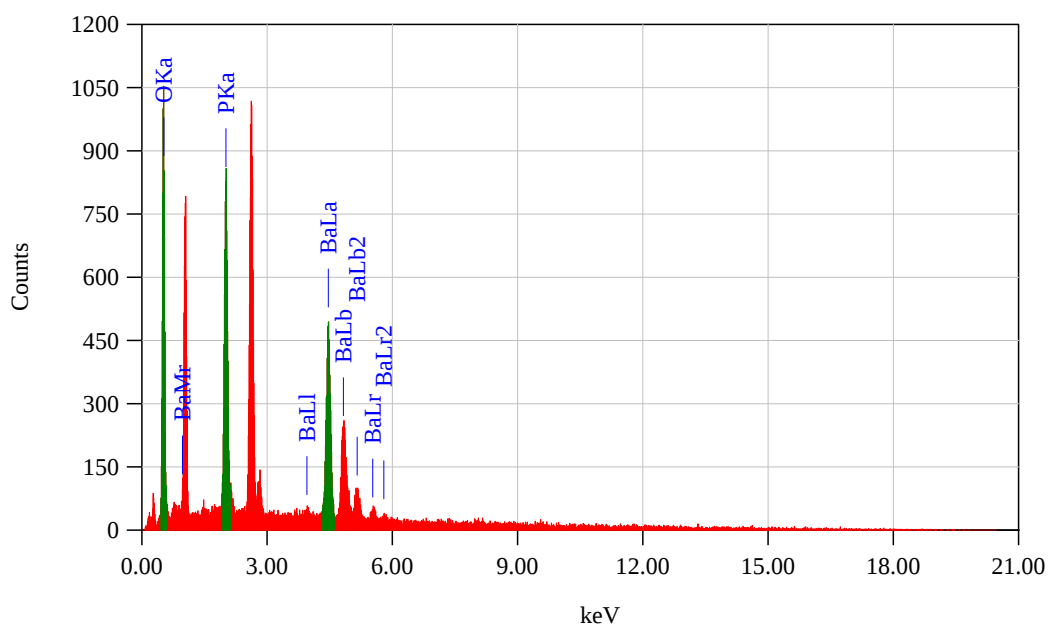


Gambar 7. Hasil analisis SEM Barium Fosfat Pada Suhu 60°C dengan perbesaran (a) 3000X (b) 5000X

Setelah melakukan pengamatan terhadap hasil SEM yang di cantumkan pada Gambar 4.6 dengan berbagai perbesaran. Proses pembentukan kristal yang dilakukan melalui percobaan dimana dengan menggunakan konsentrasi larutan Barium Fosfat 3000 ppm dan laju alir 30 mL/menit dengan variasi suhu 40°C , dan 60°C . Perbedaan morfologi antara suhu tersebut adalah semakin tinggi suhu, semakin besar ukuran dan teratur morfologi kristal.

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 EDS hasil percobaan pada laju alir 30 mL/menit pada konsentrasi 3000 ppm dapat dilihat pada Gambar 8.

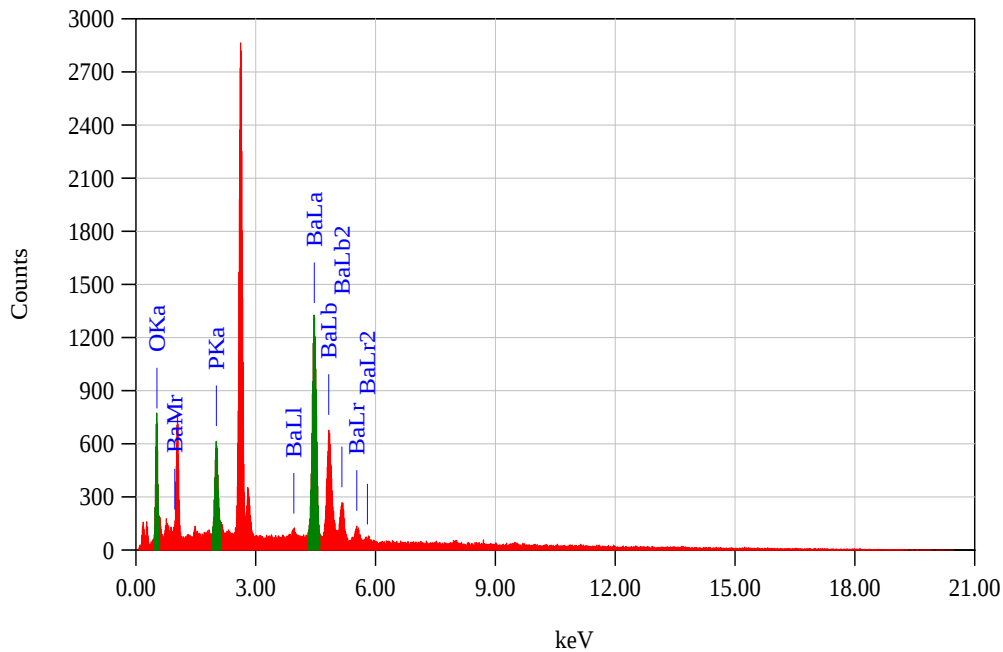


Gambar 8. Gambar Hasil Analisis EDS suhu 40°C

Tabel 2. Hasil analisa mikro kristal Barium Fosfat pada suhu 40°C

Element	Wt %
<i>O K</i>	30.57
<i>P K</i>	19.14
<i>Ba K</i>	50.29

Sedangkan untuk Hasil Pengujian EDX hasil percobaan pada suhu 60°C laju alir 30 mL/menit dan konsentrasi larutan 3000 ppm dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Gambar Hasil Analisis EDX pada suhu 60⁰C

Tabel 3. Hasil analisa mikro kristal Barium Fosfat pada suhu 60⁰C

Element	Wt %
<i>O K</i>	17.99
<i>P K</i>	7.41
<i>Ba K</i>	74.60

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 di akibatkan oleh beberapa sebab yaitu :

1. Adanya konsentrasi larutan dengan variabel suhu 40⁰C dan 60⁰C sehingga proporsi Barium Fosfat mengalami perubahan.
2. Adanya kandungan natrium dan klorid dalam kristal sehingga berpengaruh
3. komposisi kristal.

Kesimpulan

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

1. Semakin tinggi suhu yang ditambahkan semakin besar nilai tetapan laju reaksi. Pada suhu 40°C menghasilkan nilai tetapan laju reaksi $197 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ sedangkan pada suhu 60°C menghasilkan nilai tetapan laju reaksi sebesar $367 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$.
2. Semakin tinggi suhu membuat waktu induksi semakin cepat. Waktu induksi suhu 40°C memiliki waktu induksi 36 menit dengan nilai konduktivitas sebesar $8660 \mu\text{S/cm}$. Pada suhu 60°C menghasilkan waktu induksi 16 menit dengan nilai konduktivitas $8660 \mu\text{S/cm}$.
3. Dari hasil SEM antarpembedaan morfologi antara suhu 40°C , dan 60°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.

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.Riihimäki., C.J.Simonson., E.Muurinen, R.Lkeiski, 2012, 'Crystalisation of CaCO₃-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, 'Carboxylic 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 CaCO₃ 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 CaCO₃ 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 (CaSO₄) 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 CaCO₃ 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
- Aboulkas and Harfi, 2008; Chiang et al., 2007; Vyazovkin and Dranca, 2006; Won et al., 2000; Zhijia et al., 2013