

# PENGARUH ADITIF ION Cu TERHADAP MORFOLOGI KERAK GIPSUM PADA PIPA BERALIRAN LAMINER DENGAN PARAMETER LAJU ALIR

Wiji Mangestiyono

Program Studi D3 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

## Abstract

*Parameter in this experimental is flowrate which has some effect on the morfology of cristals produced such as crystal system and crystal size. Study of morfology in this research were needed to justify what kind the crystals is and to know the effects of the adition some aditives. To fullfil this demand analysis of Scanning Electron Microscopy were done and also measurement the mass of crystals. The result of this experiment : the mass of crystals decrease by adition ion  $Cu^{2+}$  five ppm and 10 ppm, but crystal morfology has no difference in its siystem otherwise in its length. Crystal system still orthorhombic.*

**Keywords :** *crystal, flowrate, morfology, aditive*

## PENDAHULUAN

Kesadahan air yang tinggi yaitu ditandai dengan tingginya kandungan ion  $Ca^{2+}$ , ion  $Mg^{2+}$ , ion  $Cl^-$ , ion  $SO_4^{2-}$  dan ion  $HCO_3^-$  memicu proses terjadinya kerak. 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 kalsium sulfat ( $CaSO_4$ ) paling banyak dijumpai dan lazim dinamakan sebagai kerak gipsum.

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 (Mc.Keon, 2007) 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 kearah 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.

Pengaruh lain dari laju alir adalah dalam hal jumlah impuritas yang diangkut selama fluida mengalir. Bila laju alir semakin besar maka impuritas yang diangkut akan semakin besar pula sehingga mempunyai relevansi terhadap kemungkinan peningkatan jumlah kerak yang terjadi. Pada sisi lain ada kemungkinan laju alir akan mengurangi waktu reaksi antara ion kalsium dengan ion sulfat.

Mengingat laju alir adalah faktor penting dalam pertumbuhan kristal maka bila laju alir diperlakukan berbeda akankah berpengaruh terhadap morfologi kristal yang dihasilkan, bila diberikan sejumlah aditif akan pulakah berpengaruh terhadap morfologi kristal yang dihasilkan? Untuk menjawabnya perlu kiranya dilakukan eksperimen ini.

Dalam penelitian ini peneliti membatasi permasalahan yang dikaji yaitu kerak yang timbul dari reaksi kalsium dengan sulfat yang lazim disebut dengan istilah kerak gipsum. Pemilihan ini didasari pertimbangan bahwa kerak gipsum adalah jenis kerak yang paling banyak dijumpai

dalam lingkungan sehari-hari atau dalam industri (Ha Ming Ang dkk, 2006).

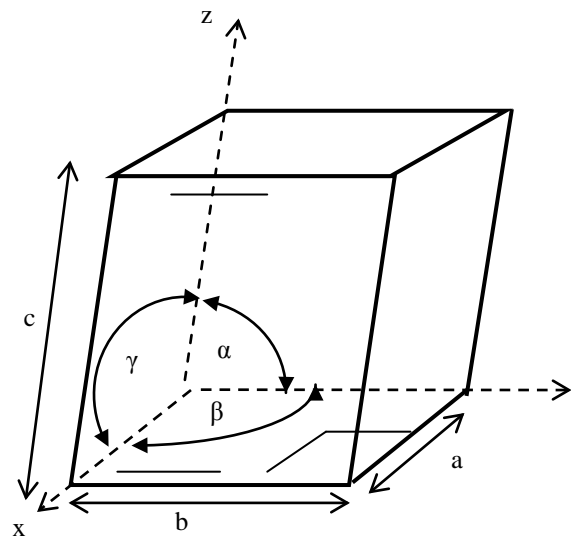
Model aliran ada dua macam yaitu laminar dan turbulen. Peneliti membatasi masalah untuk meneliti model aliran laminar. Temperatur sistem dimana terjadi proses pergerakan sangat bervariasi. Peneliti melakukan pembatasan temperatur dengan memilih temperatur kamar dengan alasan bahwa pada temperatur tersebut proses pergerakan terjadi secara alami. Aditif yang akan digunakan untuk menghambat pertumbuhan kerak adalah ion  $\text{Cu}^{2+}$ . Pemilihan aditif ini berdasarkan pemikiran bahwa ion  $\text{Cu}^{2+}$  (tembaga) adalah jenis ion yang lazim dijumpai sebagai impuritas dalam air terbuka. Kecepatan aliran yang dipilih mempunyai tiga variasi kecepatan volumetrik yaitu 30 mL, 40 mL dan 50 mL per menit.

#### TINJAUAN PUSTAKA

Mengingat adanya perbedaan yang nyata pada susunan kristal maka dalam mempelajarinya perlu untuk dilakukan pengelompokan kristal-kristal tersebut menurut konfigurasi serta susunan atom yang didasarkan pada geometri sel satuan (Callister, 2000). Ada enam parameter yang digunakan untuk mengelompokkan kristal yaitu tiga sisi ujung  $a$ ,  $b$  dan  $c$  serta tiga sudut interaksial yaitu  $\alpha$ ,  $\beta$  dan  $\gamma$ . Besar nilai serta perbedaan nilai dari ke enam parameter akan menyebabkan adanya perbedaan sistem kristal dan akan menentukan pengelompokan dari masing-masing kristal.

Menurut basis yang dijelaskan di atas didapatkan tujuh perbedaan nyata dari sistem kristal yang ada. Sistem kristal tersebut diberi nama sbb : *cubic*, *Tetragonal*, *hexagonal*, *ortorhombic*, *Rhombohedral*, *monoclinic* dan *triclinic*. Masing-masing sistem kristal yang telah disebutkan ditunjukkan dalam Gambar 2.

Menurut Gambar 2, tujuh sistem kristal masing-masing dibedakan oleh


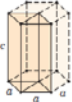
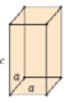

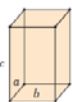
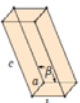
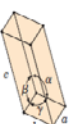


Gambar 1. Unit sel dengan koordinat  $x$ ,  $y$ ,  $z$  dengan panjang  $a$ ,  $b$ ,  $c$  dan sudut interaksial  $\alpha$ ,  $\beta$  dan  $\gamma$

tiga sudut interaksial yaitu  $\alpha$ ,  $\beta$  dan  $\gamma$  juga dibedakan oleh panjang ke tiga sisi  $a$ ,  $b$  dan  $c$ . Sebagai contoh kristal berbentuk cubic, ia mempunyai sudut interaksial  $\alpha = \beta = \gamma$ , juga mempunyai sisi-sisi  $a = b = c$ . Kristal berbentuk hexagonal mempunyai sisi  $a = b \neq c$  sedangkan - formasi sudut sudutnya adalah  $\alpha = \beta = 90^\circ$  dan  $\gamma = 120^\circ$  sedangkan untuk sistem kristal yang

berbentuk tetragonal mempunyai ukuran sisi  $a = b \neq c$  dan untuk ukuran sudutnya adalah  $\alpha = \beta = 90^\circ$ . Jadi sistem kristal *tetragonal* hampir menyerupai sistem kristal *cubic*, perbedaannya hanya terletak pada nilai sisi  $c$  yang tidak sama dengan sisi  $a$  dan sisi  $b$ .

Gambar 2 telah mencantumkan permasalahan ini secara menyeluruh dimana diharapkan bisa menjadi pedoman dalam pembahasan permasalahan morfologi.

Crystal System	Axial Relationships	Interaxial Angles	Unit Cell Geometry
Cubic	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Hexagonal	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	
Tetragonal	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Rhombohedral (Trigonal)	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	
Orthorhombic	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Monoclinic	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	
Triclinic	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	

Gambar 2. Pengelompokan bentuk kristal menurut perbedaan sudut interaksial dan panjang sisinya.

Dari segi morfologi kerak gipsum bisa dibedakan menjadi tiga fasa *polymorphis* yaitu *Calcium Sulfat Dehidrat* ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) yang juga dikenal dengan nama gipsum, *Calcium Sulfat Hemihidrat* ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ) dan *Calcium Sulfat Anhidrat* ( $\text{CaSO}_4$ ). Dari ketiga fase yang disebutkan di atas kerak gipsumlah yang paling stabil. Kerak gipsum mempunyai bentuk menyerupai jarum (*needle*) dengan penampang berbentuk prisma atau segi lima (Mwaba dkk, 2006). Bentuk kristal akan menjadi berbeda-beda apabila pada larutan pembentuk kristal diberi perlakuan

yang berbeda-beda pula. Bila konsentrasi ditingkatkan dengan cukup besar maka bentuk kristal jarum akan menjadi lebih lebar dan pipih sehingga tidak menyerupai jarum lagi (Mwaba dkk, 2006). Bila dilakukan penambahan aditif maka bentuk kristal akan menjadi *plate* atau *spherical* dimana dari bentuk ini bisa diartikan bahwa pertumbuhan kerak menjadi lambat.

Pengkajian mengenai morfologi kerak adalah kajian meliputi ukuran, bentuk, kekerasan kristal, proses pengintian serta fenomena pertumbuhannya. Ralf Beck dkk (2009) yang telah melakukan pengukuran terhadap kristal kerak gipsum mendapatkan bahwa panjang rata-rata kristal kerak gipsum adalah  $38,8 \mu\text{m}$  untuk kategori kristal halus sedang untuk kristal kasar mempunyai panjang rata-rata  $57,1 \mu\text{m}$  sedangkan density yang dimiliki oleh kristal tersebut adalah sebesar  $1,58 \text{ gr/mL}$ .

## METODOLOGI

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini meliputi : kristal  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (*Calcium Chlorid Dehidrad*) grade analitik ; kristal  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (*Natrium Sulfat*) grade analitik ;  $\text{H}_2\text{O}$  (*aquades*) grade analitik kristal  $\text{CuCl}_2$  (*Cuprum Chlorid*) grade : analitik.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi : pompa air daya 20 watt, jumlah 2 buah, kapasitas 10 L/jam. Gelas ukur dan stopwatch untuk mengukur kecepatan alir ; TDS untuk mengukur konduktifitas listrik pada larutan, timbangan skala 4D, stabiliser tegangan listrik, bejana penampung larutan kapasitas 10 liter 3 buah, coupon, tabung pengerakan dan SEM.

Setelah melakukan pengkajian pada alat-alat yang ada dalam proses kristalisasi maka peneliti menetapkan sebuah disain perangkat untuk eksperimentasi pembentukan kerak gipsum.



Gambar 3. Alat Eksperimen  
Pembentukan Kerak Gypsum

Disain alat yang dimaksudkan seperti terlihat pada Gambar 3. Alat tersebut memiliki empat bejana penampung larutan yaitu bejana I dan III untuk menampung larutan  $\text{CaCl}_2$ , bejana II dan IV menampung larutan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Pompa 1 yang dipasangkan digunakan memompa larutan dari bejana I menuju bejana III, pompa 2 digunakan untuk memompa larutan dari bejana II menuju bejana IV. Permukaan larutan pada bejana III serta bejana IV dijaga agar keduanya mempunyai ketinggian yang sama yaitu dengan cara memasang saluran yang terbuka dari bejana III menuju bejana I dan dari bejana IV menuju bejana II. Pada skema terlihat notasi  $\Delta h$  yaitu merupakan selisih ketinggian antara permukaan bejana III dan IV terhadap ketinggian saluran limbah.  $\Delta h$  bisa diatur dengan maksud untuk mendapatkan laju alir yang berbeda-beda sesuai dengan yang direncanakan yaitu sebesar 30 mL / menit; 40 mL per menit dan 50 mL / menit. Nilai  $\Delta h$  didapat melalui langkah trial and error. Larutan yang terdapat pada bejana III dan IV secara bersamaan dialirkan menuju

coupon dan seterusnya menuju penampungan limbah. Pada coupon ion  $\text{Ca}^+$  dan ion  $\text{SO}_4^-$  dari kedua larutan mengadakan reaksi dan mengendap pada dinding coupon sehingga terjadi kerak  $\text{CaSO}_4$ . Nilai konduktivitas yang berubah pada saluran limbah diukur dengan menggunakan TDS (Total Dissolved Solid) yaitu suatu instrumen yang bisa digunakan untuk mengukur konduktivitas larutan. Pengukuran konduktivitas larutan dilakukan setiap dua menit sekali.

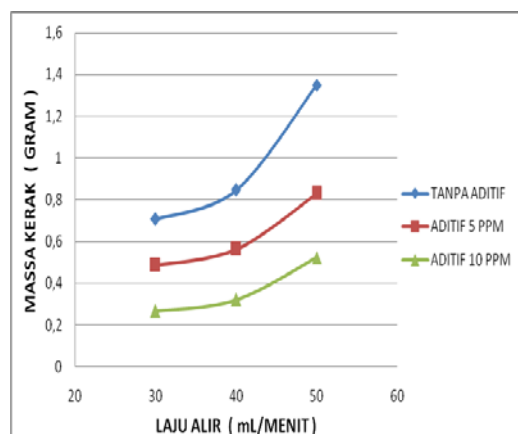
Untuk membuat larutan  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  yang pertama kali dilakukan adalah melakukan perhitungan dengan mengacu kepada konsentrasi kalsium yang direncanakan yaitu 3500 ppm dan volume larutan yang dikehendaki. Konsentrasi Ca sebesar 3500 ppm adalah setara dengan 3,5 gram/liter. Karena BA Ca = 40 sedangkan BM  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  adalah 147 maka bisa ditemukan berat  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  yaitu  $3,5/40 \times 147 = 12,8625$  gram/liter. Sedangkan perhitungan berat  $\text{SO}_4$  dihitung dengan cara mengacu pada senyawa  $\text{CaSO}_4$  dimana mempunyai BM 136 sedangkan  $\text{SO}_4$  mempunyai BM 96, maka berat  $\text{CaSO}_4$  menjadi  $3,5/40 \times 136 = 11,9$  gram/liter. Selanjutnya  $\text{SO}_4$  bisa didapatkan yaitu  $11,9/136 \times 96 = 8,4$  gram/liter. Seperti diketahui bahwa  $\text{SO}_4$  berada dalam senyawa  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dengan BM = 142. Maka kebutuhan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  per liter adalah  $8,4/96 \times 142 = 12,425$  gram/liter. Kebutuhan  $\text{CaCl}_2$  konsentrasi 5 ppm dihitung sbb :  $0,005/63,55 \times 127,55 = 0,01$  gram/liter, untuk konsentrasi 10 ppm:  $0,01/63,55 \times 127,55 = 0,02$  gram/ liter. Setelah jumlah kebutuhan senyawa kalsium dan senyawa sulfat telah dihitung dengan baik maka mulailah langkah pembuatan larutan. Yang perlu dipersiapkan adalah aquades, kertas membran, bejana dari plastik, gelas ukur, gelas labu, timbangan analitik, pengaduk dari plastik. Langkah berikutnya adalah melakukan penimbangan kebutuhan  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  sesuai dengan hasil perhitungan. Kemudian bejana diisi dengan aquades sebanyak satu liter dan

$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  dimasukkan dengan diaduk sampai rata. Selanjutnya ditambah dengan aquades lagi hingga volumenya mencapai lima liter. Untuk menghilangkan partikel yang terbawa dalam larutan maka dilakukan penyaringan menggunakan kertas penyaring dengan demikian maka larutan  $\text{CaCl}_2$  telah siap. Langkah inipun dilakukan pula untuk pembuatan larutan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan percobaan pertumbuhan kerak gipsum didapatkan hasil diantaranya adalah massa kerak. Kerak yang menempel pada coupon dan telah dikeringkan didalam oven dengan suhu  $60^\circ\text{C}$  selama enam jam kemudian ditimbang dan dicatat. Selanjutnya massa kerak dihitung dari pengurangan dari massa coupon.

Setelah dilakukan penimbangan maka data massa kerak diolah dengan menggunakan tabulasi untuk mendapatkan hasil akhir dari perhitungan massa kerak. Tabulasi ini dibuat untuk setiap percobaan dan selanjutnya data diolah dengan metode grafik untuk bisa diambil kesimpulan.



Gambar 4. Hubungan antara laju alir dengan massa kerak untuk percobaan tanpa aditif, dengan aditif lima ppm dan 10 ppm

Dari grafik yang termuat dalam Gambar 4 terlihat bahwa laju alir mempunyai pengaruh yang sangat kuat dalam pembentukan kerak gipsum. Bila laju alir meningkat maka massa kerak juga meningkat cukup tajam dimana ditunjukkan dengan perubahan kelengkungan garis. Pada percobaan tanpa menggunakan aditif dengan laju alir 30 mL/menit didapatkan massa kerak 0,7087gram. Ketika laju alir dinaikkan menjadi 40 mL/menit didapatkan massa kerak 0,8473 gram dan ketika laju alir dinaikkan menjadi 50 mL/menit didapat massa kerak 1,3498 gram.

Penambahan aditif seperti yang terlihat pada grafik yang dimaksudkan mempunyai pengaruh menurunkan massa kerak. Pada laju alir 30 mL/menit massa kerak turun dari 0,7087 gram menjadi 0,4867 gram. Pada laju alir 40 mL/menit massa kerak turun dari semula 0,8473 menjadi 0,5641. Pada laju alir 50 mL/menit massa kerak turun dari semula 1,3498 menjadi 0,8298. Demikian pula pada percobaan dengan aditif 10 ppm dimana penurunan massa kerak terlihat cukup besar.

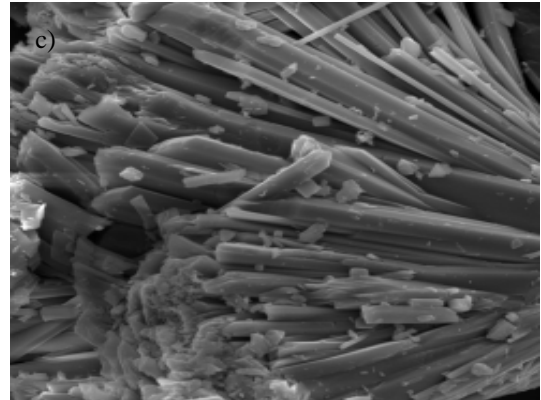
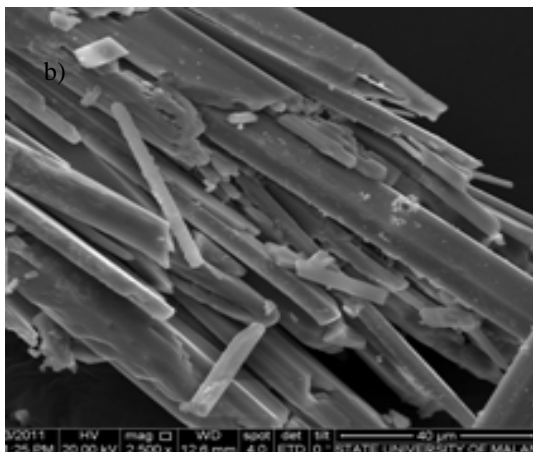
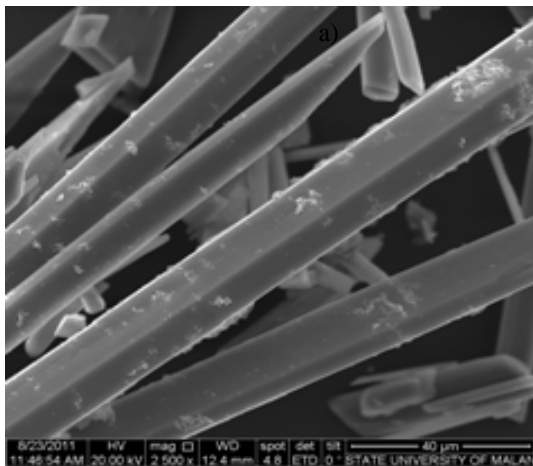
Dengan demikian bisa disimpulkan bahwa peningkatan laju alir mempunyai pengaruh terhadap peningkatan massa kerak dimana peningkatan yang terjadi cukup tinggi seiring dengan perubahan kelengkungan grafik. Penambahan aditif baik lima ppm maupun 10 ppm kedalam larutan mampu menyebabkan terjadinya penurunan massa kerak.

Kajian morfologi adalah kajian yang meliputi kekerasan kristal, ukuran, bentuk, proses pengintian serta fenomena pembentukan (Ralf Beck dkk, 2009). Dalam hal ini kajian morfologi yang dilakukan mengarah pada bentuk kristal gipsum itu sendiri. Metode yang dilakukan adalah menggunakan Scanning Electron Microscopy untuk melakukan pembesaran kristal sehingga bisa diidentifikasi apakah kristal yang terjadi adalah benar-benar kristal gipsum.

Dari gambar hasil SEM bisa diketahui bahwa bentuk kristal yang dihasilkan dari percobaan adalah adalah needle (jarum) dimana merupakan ciri khas dari bentuk

kristal gipsum maka hal ini merupakan justifikasi bahwa kristal tersebut adalah benar-benar kristal gipsum. Mengacu pada kajian sistem kristal terlihat bahwa kedua sisi pada penampang tidak sama ( $a \neq b$ ) dan sisi panjang (c) juga tidak sama ( $a \neq b \neq c$ ) sehingga bisa disimpulkan bahwa menurut kajian morfologi yang telah dibahas sebelumnya yaitu pada Tinjauan Pustaka, kristal gipsum yang dihasilkan melalui percobaan mempunyai bentuk *orthorhombic*.

Proses pembentukan kristal yang dilakukan melalui percobaan dimana variasi laju alir diujicobakan dalam tiga variasi dan dua konsentrasi aditif akan ditinjau setelah dilakukan pengamatan yang seksama terhadap bentuk kristal yang dihasilkan. Hasil SEM menunjukkan morfologi kristal kerak gipsum seperti yang tercantum pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil SEM dengan magnifikasi 2500X dari a) kristal gipsum laju alir 30mL/menit tanpa aditif, b) kristal gipsum laju alir 50mL/menit tanpa aditif dan c) kristal gipsum laju alir 50mL/menit aditif 10ppm

Setelah melakukan pengamatan terhadap hasil SEM yang dicantumkan dalam Gambar 5 bisa dibedakan bahwa kristal yang dihasilkan melalui percobaan dengan laju alir 30 mL/menit mempunyai *needle* lebih sedikit dibanding dengan laju alir 50 mL/menit. Hal ini terbukti bahwa hasil penimbangan massa kerak mempunyai selisih yang signifikan yaitu sebesar 0,6428 gram atau sebesar 47%. Namun bentuk dari kedua kristal tersebut tidak mengalami perubahan yaitu tetap berbentuk *orthorhombic*.

Pengaruh penambahan aditif bisa ditinjau dengan membandingkan hasil SEM pada Gambar 5b (laju alir 50 mL/menit tanpa aditif) dengan Gambar 5c (laju alir 50 mL/menit dengan aditif ion  $\text{Cu}^{2+}$  sebesar 10 ppm). Bentuk kristal yang dihasilkan oleh keduanya tetap sama yaitu berbentuk *needle* (jarum). Ini berarti penambahan ion  $\text{Cu}^{2+}$  pada laju alir 50 mL/menit tidak mempengaruhi sistem kristal gipsum sehingga bentuk kristal tetap merupakan bentuk *orthorhombic*. Yang berubah akibat adanya penambahan aditif adalah ukuran kristalnya yaitu menjadi lebih pendek. Hal ini sesuai dengan hasil penimbangan massa kerak dimana mempunyai selisih sebesar 0,8267 gram atau sebesar 61%

## KESIMPULAN

Pada percobaan yang dilakukan tanpa menggunakan aditif untuk laju alir 30 mL/menit menghasilkan massa kerak 0,7087 gram, untuk laju alir 40 mL/menit menghasilkan massa kerak 0,8473 gram dan untuk laju alir 50 mL/menit menghasilkan massa kerak 1,3498 gram. Peningkatan massa kerak yang terjadi akibat peningkatan laju alir adalah merupakan fungsi kwadrat sehingga bisa disimpulkan bahwa laju alir mempunyai pengaruh yang sangat kuat terhadap peningkatan pertumbuhan kerak gipsum.

Penambahan aditif ion  $\text{Cu}^{2+}$  sebesar 10 ppm pada laju alir 50 mL/menit mampu menurunkan massa kerak yang dihasilkan menjadi 0,5231 gram dari sebelumnya 1,3498 gram. Pengurangan massa kerak yang terjadi adalah sebesar 61% maka bisa disimpulkan bahwa aditif ion  $\text{Cu}^{2+}$  mempunyai pengaruh yang sangat baik untuk menghambat pertumbuhan kerak gipsum.

Kristal yang dihasilkan melalui percobaan ini bila mengacu pada kajian sistem kristal adalah benar-benar kristal gipsum, yaitu mempunyai bentuk needle (jarum) memanjang dengan pola kristal *orthorhombic* dimana menjadi ciri khas dari kristal gipsum.

Aditif ion  $\text{Cu}^{2+}$  sebesar 5 dan 10 ppm dapat berpengaruh mengurangi pertumbuhan kerak gipsum akan tetapi tidak mengakibatkan berubahnya morfologi kristal gipsum misal berubah menjadi bentuk *plate* atau *spherical*. Namun demikian dimensi kristal berubah menjadi lebih pendek walaupun bentuknya tetap *orthorhombic*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ang.Haming, Muryanto. Stefanus, Hoang.Tung, 2006, Gypsum scale Formation Control In Pipe Flow System : A Systemic Study On The Effect Of Process Parameters And Additives, Curtin University Of Technology, Perth, Australia.
- Al-Barrak.K, Rowell. D.L, *The Solubility Of Gypsum In Calcareous Soil*, Science Direct, 136(2006) pp : 830-837.
- Ashby. Michael F, 2009, Material And The Environment. Eco Informed Materia l Choice, Elseiver, USA.
- Azimi.G, Papangelakis. V.G, *The Solubility Of Gypsum And Anhydrite In Simulated Laterite Acid Leach Solutions Up To 250°C*, Hydrometallurgy, do : 10.1016/j. hydromet. 2009.12.009.
- Azimi.G, Papangelakis.V.G, *Thermodynamics Modeling And Experimental Measurement Of Calcium Sulfate In Complex Aqueous Solutins, Fluid Fase Equilibria*, Elseiver, 8288(2009)
- Beck.Ralf, Hakkinen. Antti, Sorensen. Didrik Malthe, Petter Andreassen. Jens, *The Effect Of Crystalization Conditions, Cristal Morphology And Size On Pressure Filtration Of L Glutamic Acid And An Aromatic Amine*, Elseiver, Separation And Publication Technology, 66(2009)pp:549-558.
- Cakal.G.O, Eroglu.I, Ozkar.S, *Gypsum Crystal Size Distribution In Four Continuous Flow Stirred Slurry Boric Acid Reactors In Series Compared With The Batch*, Journal Of Crystal Growth, 290(2006) pp : 197-202.
- Callister.William D. Jr, 2001, *Material Science And Engineering. An Introduction*, 7<sup>th</sup> Edition, John Wiley & Sons Inc, USA
- Callister.William D.Jr, (2001), *Fundamental Of Material Science And Engineering*, 5<sup>th</sup> Edition, John Wiley & Sons Inc, USA.
- Chong.T.H, Sheikholeslami.R, *Thermodyna mics And Kinetics For Mixed Calcium Carbonate And Calcium Sulfate Precipitation*, Chemical Engineering Science, 56(2001)pp: 5391-5400.
- Dutrizac.J.E, Kuiper. A, *The Solubility Of Calcium Sulfate In Simulated Copper Sulfate Electro Refining*

- Solutions, Hydrometallurgy, 92(2008) pp:54-68.
- Eufrard.M, Membrey.F, Filiatre.C, Pignolet.C, Foissy.A, *Kinetic Study Of Electrocrystalization On Calcium Carbonate On Metallic Substrates*, Journal Of Crystal Growth, 291 (2006) pp :428-435.
- Fan.Chungfang, Teng. H.Henry, *Surface Behavior Of Gypsum During Dissolution*, Chemical Geology, 245 (2007) pp : 242-253.
- Farrah.Helen E, Lawrance.Geofrey A, Wanless.Erica J, *Solubility Of Calcium Sulfate Salts In Acidic Manganese Sulfate Solution From 30°C to 105°C*, Hydrometallurgy, 86 (2007) pp :13-21.
- Hawthorn.D, *Heat Transfer : Solving Scaling Problem At The Design Stage*, Chemical Engineering Research And Design, 87 (2009) pp: 193-199.
- Hernandez.A, La Rocca. A, Power.H, Graupner.U, Ziegenbalg.G, *Modelling The Effect Of Precipitation Inhibitor On Crystalization Process From Well Mixed Over Saturated Solutions In Gypsum Based On Langmuir – Volmer Flux Correction*, Journal Of Crystal Growth, 295(2006) pp : 217-230.
- Hoang. Tung A, *Effect Temperature On Scaling Of Calcium Sulfate In Pipe*, Powder Technology 179 (2007) pp: 31-37.
- Isopescu.Raluca, *The Effect Of Organic Additive On Induction Time And Characteristic Of Precipitated Calcium Carbonate*, Chemical Engineering And Research Design, ( 2009).
- Jamaialahmadi. M, Steinhagen. H. Muller, *Heat Exchanger Fouling And Cleaning In The Dehydrate Process For The Production Of The Phosporic Acid*, Chemical Engineering Research And Design, 85 (2007), pp : 245-255.
- Jones. Franca, *The Interaction Of EDTA With Barium Sulfate*, Journal Of Colloid And Interface Science, 316(2007) pp: 553-561.
- Jun. Liu Wen, *The Influence Of Metal Ion On The Scaling In The Mineral Water Test*, Ionics, 14 (2009) pp : 449-454.
- Jun. Liu Wen, *Anti Scaling Properties Of Zinc Ion And Copper Ion In The Recycling Water*, Ionics, 15 (2009) pp: 337-343.
- Keon.Mc.B.J, Morrison. J.F, *Asymptotic Scaling in Turbulent Pipe Flow*, Phil. Trans. R. Soc. A, 365 (2007) pp: 771 - 787.
- Mwaba.Misheck G, Gu . Junjie, Golriz. Mohammad R, *Effect Of Magnetic Field On Calcium Sulfate Crystal Morphology*, Journal Of Crystal Growth, 303(2007) pp : 381-386.
- Prisciandaro.Marina, Olivieri.Emilia, Lancia.Amedeo, Musmarra. Dino, *Gypsum Precipitation From Aqueous Solution In The Presence Of Nitrotrimethylnephosphonic Acid*, Ind. Eng.Chem.Res 45(2006)pp: 2070-20876.
- Sayan.Pervis, Titis Sargut. Sibel, Avci. Burcu *Effect Of Trace Metals On Reactive Crystalization Gypsum*, Cryst. Res. Technol. 42(2007) pp: 961-970.
- Quddus.Abdul, Luai M.Al-Hadrami, *Hydrodynamically deposited CaCO<sub>3</sub> and CaSO<sub>4</sub> scales*, ScienceDirect, Desalination 246 ( 2009 ) pp : 526 – 533.