

## Kinetika Reaksi Dehidrasi Gypsum Bekas Pembalut Patah Tulang menjadi Gypsum Hemihidrat (Gips)

Syarifah Aini<sup>1</sup>, Wahyudi Budi Sediawan<sup>2</sup>, P. Sumardi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Magister Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan

Jurusan Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada

E-mail: aini07931@gmail.com

### Abstract

*The reactivating process of fracture bandage gypsum to be hemihydrate gypsum can be performed by evaporating 75% of water contained in gypsum crystal. The aims of this study were to produce hemihydrate gypsum within standard quality (<66% w/w of  $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ ), to formulate mathematical model that represents and to determine the parameter values of dehydration process of gypsum.*

*The obtained data are the mass of gypsum and sample temperature each periode of time, by heating the samples with Thermal Gravimetry-Differential Thermal Analysis (TG-DTA) and furnace temperature at 30°C - 300°C. Samples and products were then analyzed with X-ray diffractometer (XRD) analysis.*

*The results showed that the hemihydrate gypsum produced in this research had the purity of 94.49%. The mathematic modelling of dehydration reaction of gypsum was approached by pseudo first order reaction and drying rate equation. The parameter values can be used to predict the value of the purity gypsum hemihydrates as required.*

**Keywords:** *dehydration, hemihydrate gypsum, TG-DTA, XRD, mathematics modeling*

### Abstrak

*Pengaktifan kembali gipsium bekas pembalut patah tulang menjadi gipsium hemihidrat dapat dilakukan melalui proses dehidrasi gipsium dengan cara menguapkan 75% air yang terkandung dalam kristal gipsium. Studi ini dimaksudkan untuk menghasilkan produk gipsium hemihidrat sesuai syarat mutu gipsium plesteran (minimal 66% berat  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ), pemodelan matematis dan menentukan nilai parameter proses dehidrasi gipsium.*

*Data berupa massa gipsium setiap waktu dan suhu sampel setiap waktu, yang diperoleh dari pemanasan gipsium dengan Thermal Gravimetry-Differential Thermal Analysis (TG-DTA) dan furnace pada suhu 30°C sampai 300°C dalam kondisi non-isotermal. Analisis sampel dan produk dilakukan dengan menggunakan X-ray Diffractometer (XRD).*

**RATIH VOL.2 Edisi 1**

*Hasil penelitian menunjukkan bahwa gipsum hemihidrat yang dihasilkan mempunyai kemurnian 94,49%. Pemodelan matematis proses reaksi dehidrasi gipsum didekati dengan persamaan kinetika reaksi semu orde satu dan persamaan laju pengeringan. Nilai parameter yang dihasilkan dapat digunakan untuk memprediksi nilai kemurnian gipsum hemihidrat yang diinginkan.*

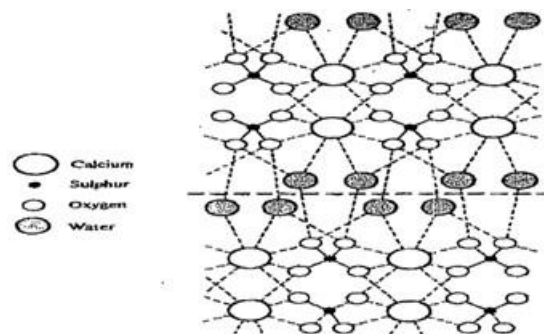
**Kata kunci:** gipsum hemihidrat, dehidrasi, TG-DTA, XRD, pemodelan matematis

### Pendahuluan

Menurut profil kesehatan Indonesia, Departement Kesehatan, 1997 menyebut bahwa diperkirakan secara nasional produksi sampah (limbah padat) rumah sakit sebesar 376.089 ton per hari. Sedangkan limbah gips adalah 1% dari limbah medis infeksius, sehingga limbah gips berjumlah 873 ton per hari. Sementara potensi investasi komoditi gipsum di Indonesia tahun 2014 hanya ada di beberapa propinsi, yaitu: Sumatra Utara, Kalimantan Timur, Jawa Timur dan Nusa Tenggara Barat [1]. Oleh karena itu, perlu adanya upaya guna memenuhi gipsum dalam negeri secara mandiri.

Penelitian ini dimaksudkan mengaktifkan kembali gipsum bekas pembalut patah tulang menjadi gipsum siap pakai yaitu gipsum hemihidrat (*plaster of gypsum*). Kinetika reaksi pada kondisi non-isotermal dan pengaruh laju pemanasan, ukuran partikel akan dipelajari. Selain itu dipelajari pula perpindahan massa cair-gas dari proses penguapan air pada reaksi dehidrasi gipsum bekas pembalut patah tulang.

Gipsum adalah salah satu [mineral](#) dengan kadar [kalsium](#) yang mendominasi pada mineralnya. Gipsum yang paling umum ditemukan adalah jenis [kalsium sulfat](#) dihidrat. Gipsum memiliki 23% kalsium dan 18% sulfur dan kelarutannya adalah 150 kali dari batu kapur, karena itu merupakan sumber alami nutrisi tanaman. Gipsum ditambang dan dibuat menjadi berbagai produk seperti untuk konstruksi, pertanian, dan industri [2].



**Gambar 1.** Struktur molekul gipsum [3]

Ketika gipsum alam dipanaskan pada suhu sekitar 300°F(150°C) maka akan kehilangan air  $\frac{3}{4}$  nya dan menjadi gipsum hemihidrat ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ) yang lembut dan

**RATIH VOL.2 Edisi 1**

berbentuk bubuk disebut hemihidrat plester gips (*plaster of paris*) [2]. Gips adalah bahan untuk membuat adukan plesteran yang harus mengandung minimal 66% berat senyawa kalsium sulfat hemihidrat [4].

Gypsum bekas adalah gips yang sudah dipakai untuk membalut patah tulang dan secara kimia gips bekas merupakan hasil reaksi hidrasi dari gips (gips pada proses fiksasi). Biasanya gips ini sudah terkotori oleh bakteri, keringat, debu dan sifatnya sudah tidak aktif lagi (jenuh).

Proses dehidrasi gips terdiri dari 2 tahapan. Tahapan yang pertama adalah menghilangkan air yang terikat dalam struktur kimia kristal gips sebesar 75%, dan tahapan yang kedua adalah menghilangkan airnya sebesar 25%. Tahapan yang pertama menghasilkan produk gips hemihidrat yang dapat dipakai untuk bahan bangunan maupun bidang kesehatan, sedangkan tahapan yang kedua menghasilkan gips anhidrat [5].

Proses dehidrasi gips dianalogikan sama dengan proses pengeringan. Berkaitan dengan perancangan alat, durasi pengeringan (*drying period*) suatu material harus diketahui. Pada umumnya periode pengeringan dapat diperoleh dengan menggambarkan plot kadar air versus waktu ataupun laju pengeringan versus kadar air. Flux laju pengeringan didefinisikan sebagai  $N$  seperti yang ditulis pada persamaan 1.

$$N = \frac{dm_v}{A \cdot dt} = -\frac{m_s}{A} \frac{dX}{dt} \quad (1)$$

Dalam kasus penelitian ini, laju pengeringan disederhanakan menjadi 2 periode yaitu periode laju pengeringan konstan dan periode laju pengeringan menurun [6].

Laju pengeringan konstan didefinisikan sebagai  $N_c$ , seperti dalam persamaan:

$$N_c = k_y (y_s - y) \quad (2)$$

Dan laju pengeringan menurun seperti pada didefinisikan sebagai berikut:

$$N = N_c \frac{(x - x_s)}{(x_c - x_s)} \quad (3)$$

Dari persamaan 1 dan 3 disubstitusikan menjadi:

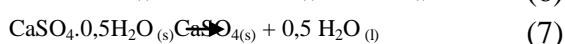
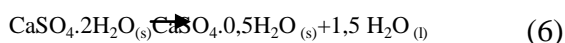
$$-\frac{dX}{dt} = N_c \frac{A}{m_s} \frac{(x - x_s)}{(x_c - x_s)} \quad (4)$$

Kemudian  $N_c$  pada persamaan 3 dimasukkan ke dalam persamaan 1 menjadi:

$$-\frac{dX}{dt} = k_y (y_s - y) \frac{A}{m_s} \frac{(x - x_s)}{(x_c - x_s)} \quad (5)$$

**Model Dehidrasi Gypsum**

Reaksi dehidrasi gypsum adalah :



**RATIH VOL.2 Edisi 1**

Proses dehidrasi gipsum didasarkan pada mekanisme terlepasnya air yang terikat pada gipsum menjadi air bebas kemudian air bebas tertransfer ke *bulk* udara melalui langkah-langkah sebagai berikut:

1. Reaksi berlangsung secara seri, material gipsum terdekomposisi menjadi gipsum hemihidrat dan air bebas, kemudian gipsum hemihidrat terdekomposisi lagi menjadi gipsum anhidrat dan air bebas.
2. Difusi air bebas dari dalam ke permukaan kristal gipsum.
3. Perpindahan massa air bebas dari permukaan kristal gipsum ke *bulk* udara.

Untuk memodelkan proses dehidrasi gipsum ini diambil beberapa asumsi sebagai berikut:

1. Gipsum yang bereaksi terdiri dari 91,67%  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  dan 8,33% inert.
2. Serbuk kristal gipsum dianggap satu padatan yang uniform.
3. Reaksi didekati dengan reaksi semu orde satu.
4. Hambatan difusi internal air dalam kristal gipsum dapat diabaikan karena terjadi sangat cepat.
5. Kadar air (*relative humidity*) di udara dianggap tetap.

Untuk mendeskripsikan proses dehidrasi secara kuantitatif, maka disusun pemodelan matematis berupa fraksi mol masing-masing komponen terhadap mol  $\text{CaSO}_4$  total.

$$x_1 = \frac{\text{mol CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}{\text{mol CaSO}_4 \text{ total}} \quad (9)$$

$$x_2 = \frac{\text{mol CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}}{\text{mol CaSO}_4 \text{ total}} \quad (10)$$

$$x_3 = \frac{\text{mol H}_2\text{O bebas}}{\text{mol CaSO}_4 \text{ total}} \quad (11)$$

$$x_4 = \frac{\text{mol CaSO}_4}{\text{mol CaSO}_4 \text{ total}} \quad (12)$$

Pemodelan dehidrasi gipsum dibagi menjadi 3 zona (area), yaitu zona laju pengeringan konstan, zona laju pengeringan menurun dan zona tanpa laju pengeringan, ketiga zona ini mempunyai persamaan  $\frac{dx_1}{dt}, \frac{dx_2}{dt}, \frac{dx_4}{dt}$  sama, hanya  $\frac{dx_3}{dt}$  yang berbeda.

$$\frac{dx_1}{dt} = -k_1 \cdot x_1 \quad (12)$$

$$\frac{dx_2}{dt} = k_1 \cdot x_1 - k_2 \cdot x_2 \quad (13)$$

$$\frac{dx_4}{dt} = k_2 \cdot x_2 \quad (14)$$

$$\frac{dT}{dt} = \text{konstan} \left( 2,5 \frac{^\circ\text{C}}{\text{menit}} \right) \quad (15)$$

Zona laju pengeringan konstan

$$\frac{dx_3}{dt} = 1,5 k_1 \cdot x_1 + 0,5 k_2 \cdot x_2 - k_y a \cdot (y_s - y) \quad (16)$$

Zona laju pengeringan menurun

**RATIH VOL.2 Edisi 1**

$$\frac{dx_3}{dt} = 1,5 k_1 \cdot x_1 + 0,5 k_2 \cdot x_2 - k_y a \cdot (y_s - y) \cdot \frac{(x_3 - x_s)}{(x_c - x_s)} \quad (17)$$

Zona tanpa laju pengeringan

$$\frac{dx_3}{dt} = 1,5 k_1 \cdot x_1 + 0,5 k_2 \cdot x_2 \quad (18)$$

Kondisi awal dan kondisi batas untuk peristiwa ini adalah:

$$t=0, x_1=1, x_2=0, x_3=0, x_4=0$$

$x_3 < x_s$  menggunakan persamaan differensial zona tanpa laju pengeringan

$x_s < x_3 < x_c$  menggunakan persamaan differensial zona laju pengeringan menurun

$x_3 > x_c$  menggunakan persamaan differensial zona laju pengeringan konstan

Penyelesaian model matematis dengan MATLAB melalui perintah ODE15s dan nilai tetapan  $A_1, E_1, A_2, E_2, x_c, x_s, k_y a$  dapat diperoleh dengan minimasi SSE yang dilakukan dengan perintah LSQNONLIN, sehingga didapat nilai SSE yang paling minimum dari massa data dan massa hitung.

## Bahan dan Metode

### A. Bahan

Bahan yang digunakan adalah gypsumbekas pembalut patah tulang dari RS Ortopedi Prof. DR. R. Soeharso Surakarta.

### B. Alat

Alat yang digunakan pemukul besi, pengayak, kurs porselen, oven, furnace.

### C. Persiapan Bahan Baku

Gypsum bekas pembalut patah tulang dipukul-pukul menggunakan pemukul besi, diambil serbuk gipsumnya dan diayak dalam range -10/+35 mesh, -35/+60 mesh, -60/+80 mesh dan -80/+170 mesh. Gypsum disimpan dalam wadah tertutup dan kering. Identifikasi awal sampel gipsum yaitu kristalinitas sampel dibandingkan dengan kristalinitas gipsum standart dengan menggunakan X-ray Diffractometer (XRD).

### D. Pemanasan Gypsum dengan TG-DTA

Proses pemanasan gypsum dengan alat TG-DTA menggunakan aliran udara sebesar 100 ml/menit. Sebelum sampel dimasukkan ke dalam kurs silinder kecil yang terbuat dari alumunium, kurs diisi dengan bahan standart berupa bubuk alumina.

Untuk mendapatkan data massa gypsum setiap waktu dan suhu setiap waktu,  $\pm 15$  mg serbuk gipsum dianalisis dengan TG-DTA pada berbagai variasi laju pemanasan yaitu 2,5°C/menit, 5°C/menit dan 10°C/menit, dimulai dari suhu 30°C hingga 300°C.

## RATIH VOL.2 Edisi 1

### E. Pemanasan Gypsum dengan Furnace

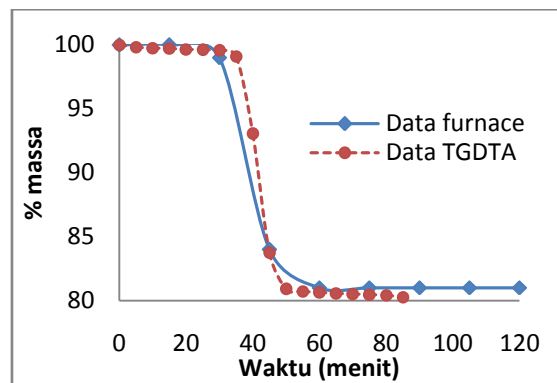
Proses pemanasan gipsum dengan furnace, tanpa aliran udara dan dalam sistem yang tertutup. Sampel dimasukkan dalam kurs porselen ukuran 15 mldengan berbagai variasi ukuran partikel yaitu -10/+35 mesh, -35/+60 mesh, -60/+80 mesh dan -80/+170 mesh.

Untuk mendapatkan data massa gipsum setiap waktu dengan laju pemanasan  $2,5^{\circ}\text{C}/\text{menit}$  dari suhu  $30^{\circ}\text{C}$  hingga  $350^{\circ}\text{C}$ , menimbang 1 gram serbuk gipsum dalam kurs porselen sejumlah 8 kurs, mengambil setiap 15 menit kurs tersebut dari furnace, memasukkan ke dalam eksikator kemudian menimbang hasilnya.

## Hasil dan Pembahasan

### A. Pemanasan Gypsum dengan TG-DTA dan Furnace

Hasil yang didapat dari pemanasan gipsum dengan TG-DTA dan furnace bisa dilihat pada Gambar 2 berikut:



Gambar 2. Data TG-DTA dan data furnace (% massa pada setiap waktu)

Data yang diperoleh dari furnace menunjukkan adanya penurunan massa pada waktu 30-60 menit dan pada suhu  $104-186^{\circ}\text{C}$ , sedangkan data yang diperoleh dari TG-DTA menunjukkan adanya penurunan massa pada waktu 35-50 menit dan pada suhu  $111-148^{\circ}\text{C}$ . Kisaran suhu yang didapat dari hasil pemanasan dengan TG-DTA hampir sama dengan kisaran suhu dalam *Gypsum and Gypsum Product Handbook* yaitu berkisar  $110-145^{\circ}\text{C}$  dengan laju pemanasan  $3^{\circ}\text{C}/\text{menit}$  [7].

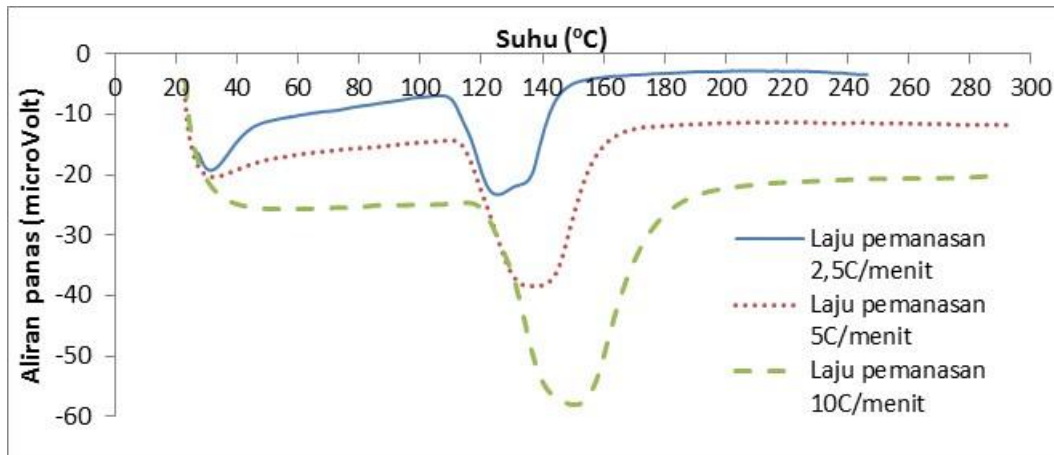
Proses dehidrasi gipsum dengan pemanasan furnace memerlukan waktu yang lebih lama dan rentang suhu yang lebih besar dibandingkan dengan proses pemanasan gipsum dengan TG-DTA. Hal ini disebabkan oleh :

- Sistem furnace tertutup tanpa aliran udara, sehingga menyebabkan proses dehidrasi lebih lama.
- Profil pemanasan didapat dengan manual, harus buka tutup furnace dan ini mempengaruhi suhu dan laju pemanasan menjadi tidak konstan, sehingga waktu yang dibutuhkan menjadi lebih lama.

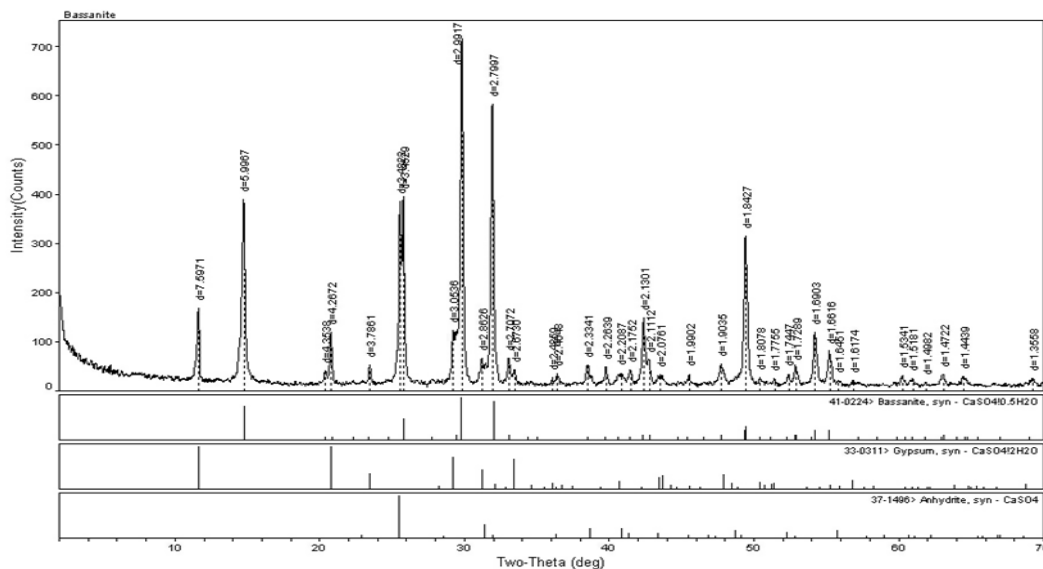
## RATIH VOL.2 Edisi 1

### B. Profil Aliran Panas

Profil aliran panas pemanasan gipsum dengan TG-DTA dapat dilihat pada Gambar 3 berikut:



**Gambar 3.** Profil aliran panas kurva DTA pada berbagai laju pemanasan



**Gambar 4.** XRD gipsum hemihidrat (Bassanit)

Gambar 3 menunjukkan adanya perbedaan profil aliran panas pada ketiga laju pemanasan. Profil aliran panas pada laju pemanasan 2,5°C/menit terdapat dua puncak endotermis yaitu puncak endotermik -23,30 microVolt pada suhu 125,17 °C dan -21,77 microvolt pada suhu 132°C. Hal ini serupa dengan kurva DTA gipsum pada tekanan 760 torr yang ada di literatur yaitu terdapat dua puncak endotermik pada suhu 150°C dan 190°C [5] dan DTA gipsum alam pada laju pemanasan 10°K/menit menunjukkan dua puncak endotermik pada suhu 164°C dan 200°C [9].

Profil aliran panas pada laju pemanasan 5°C/menit dan laju pemanasan 10°C/menit, masing-masing hanya memiliki satu puncak endotermik, ini disebabkan oleh makin tingginya suhu menyebabkan puncak endotermik yang pertama bergabung



**RATIH VOL.2 Edisi 1**

dengan puncak endotermik yang kedua, seperti kurva DTA pada pemanasan gipsum 70°C, 80°C dan 90°C selama 24 jam [10] yaitu pada pemanasan 70°C dan 80°C, kurva DTA menunjukkan dua puncak endotermik, sedangkan pada pemanasan 90°C, kurva DTA hanya menunjukkan satu puncak endotermik saja.

*C. Kemurnian Sampel dan Produk*

Dari hasil XRD sampel terdapat 6 indikasi “d-value ( $2\Theta$ )” untuk mineral gipsum dihidrat ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) dan 1 indikasi “d-value ( $2\Theta$ )” untuk mineral gipsum anhidrat ( $\text{CaSO}_4$ ) yang mempunyai nilai count/cacah intensitas sinar X yang terdifraksi masing-masing. Berdasarkan data gipsum dihidrat standar, maka dapat dihitung nilai  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  dalam sampel atau kemurnian gipsum dalam sampel sebesar 91,67% dan sisanya 8,33% adalah gipsum anhidrat ( $\text{CaSO}_4$ ).

Pada Gambar 4 menunjukkan hasil XRD produk gipsum hemihidrat terdiri dari gipsum hemihidrat (bassanit) dengan kemurnian 94,49%, gipsum dihidrat sejumlah 1,947% dan gipsum anhidrat sejumlah 3,563%.

*D. Pemodelan Matematis*

Dari hasil simulasi model matematis yang sudah dirumuskan diperoleh nilai parameter model reaksi ( $A_1, A_2, E_1, E_2$ ) dan nilai parameter model air bebas ( $x_c, x_s, k_y, a$ ) pada berbagai laju pemanasan dan pada berbagai ukuran partikel.

Nilai parameter model reaksi memiliki nilai deviasi yang cukup kecil, sehingga nilai parameter model reaksi dibuat rata-rata, hasilnya dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:

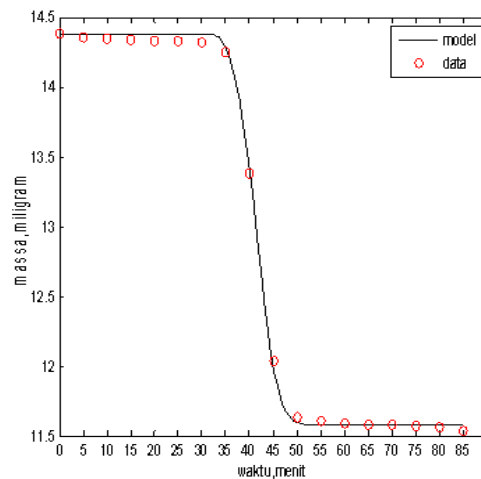
**Tabel 1.** Nilai rata-rata parameter model reaksi

Parameter model reaksi	Nilai rata-rata
$A_1$ (1/menit)	$6,7000 \times 10^{+18}$
$A_2$ (1/menit)	$2,4428 \times 10^{+9}$
$E_1$ (J/mol)	$1,5091 \times 10^{+5}$
$E_2$ (J/mol)	$7,6227 \times 10^{+4}$

Kemudian nilai parameter model rata-rata tersebut dimasukkan lagi ke dalam simulasi model kembali untuk dihitung nilai parameter model air bebasnya ( $x_c, x_s, k_y, a$ ) pada berbagai laju pemanasan dan pada berbagai ukuran partikel.

Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 5, Gambar 6, Tabel 2 dan Tabel 3.



**RATIH VOL.2 Edisi 1**

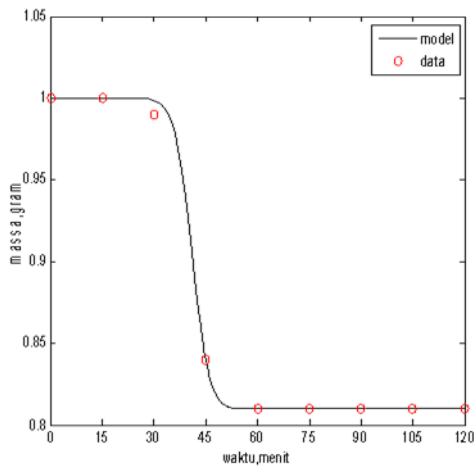
**Gambar 5.** Simulasi dengan nilai rata-rata ( $A_1, A_2, E_1, E_2$ ) pada laju pemanasan  $2,5^\circ\text{C}/\text{menit}$

**Tabel 2.** Nilai parameter model air bebas dengan nilai rata-rata  $A_1, A_2, E_1, E_2$  pada berbagai laju pemanasan

Parameter model	Laju pemanasan ( $^\circ\text{C}/\text{menit}$ )		
	2,5	5	10
$x_c$ (mmol air bebas/mmol $\text{CaSO}_4$ total )	1,2987	0,5157	0,3942
$x_s$ (mmol air bebas/mmol $\text{CaSO}_4$ total )	0,1422	0,0624	0,1110
$k_y a$ (mmol air bebas/mmol $\text{CaSO}_4$ total /menit)	0,3359	0,1134	0,0753

**Tabel 3.** Nilai parameter model air bebas dengan nilai rata-rata  $A_1, A_2, E_1, E_2$  pada berbagai ukuran partikel

Parameter model	Ukuran partikel ( mesh )			
	-10/+35	-35/+60	-60/+80	-80/+170
$x_c$ (mol air bebas/mol $\text{CaSO}_4$ total )	5,6778	5,3648	4,2207	1,5979
$x_s$ (mol air bebas/mol $\text{CaSO}_4$ total )	0,0176	0,0099	0,0316	0,0136
$k_y a$ (mol air bebas/mol $\text{CaSO}_4$ total /menit)	0,0344	0,0786	0,0832	0,1138



**Gambar 6.** Simulasi dengan nilai rata-rata ( $A_1, A_2, E_1, E_2$ ) pada ukuran partikel +170 mesh

Dari Tabel 2 dapat diketahui hubungan nilai  $k_y a$  dan laju pemanasan yang didekati dengan persamaan yang dihitung dengan program *Microsoft Excel* yang memilih *trendline (regression type power)*.

$$k_y a = 0,8063 \left[ \frac{dT}{dt} \right]^{-1,0787} \quad (19)$$

Dengan nilai  $R^2 = 0,9361$

Dari Tabel 3 dapat diketahui hubungan nilai  $k_y a$  dan diameter partikel yang didekati dengan persamaan yang dihitung dengan program *Microsoft Excel*

yang memilih *trendline (regression type power)*.

$$Sh = 0,000423 \left[ \frac{d_p}{d_w} \right]^{-0,6791} \quad (20)$$

Dengan nilai  $R^2 = 0,8977$

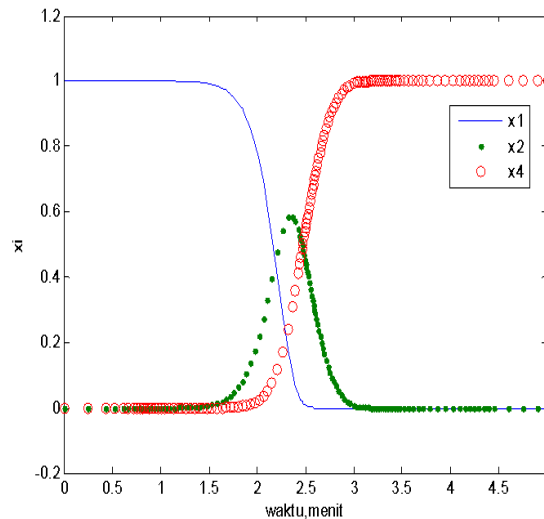
#### E. Prediksi Model Reaksi

Dalam penelitian ini, model reaksi hanya dipengaruhi oleh laju pemanasan saja. Untuk mendapatkan produk gipsum hemihidrat yang diinginkan, hanya diperlukan dengan memvariasi laju pemanasan.

Nilai parameter-parameter yang sudah diketahui kemudian dimasukkan ke dalam persamaan differensial yang sudah dirumuskan (persamaan 12-18) dan diolah dalam *software MATLAB*.

Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa puncak  $x_2$  terjadi pada waktu 2,3656 menit dan pada suhu 171,9382°C, dengan nilai  $x_2$  sebesar 0,5853 mol air bebas/mol CaSO<sub>4</sub> total.

Dari simulasi model reaksi yang telah dibuat, maka dapat diambil kesimpulan bahwa dengan menaikkan laju pemanasan dapat menaikkan nilai puncak  $x_2$  atau dapat meningkatkan nilai kemurnian produk gipsum hemihidrat



**Gambar 7.** Hasil simulasi prediksi model reaksi pada laju pemanasan 60°C/menit

Gambar 7 serupa dengan profil  $Y_i$  (fraksi massa komponen gipsum) hasil simulasi dengan CFD yaitu penelitian yang dilakukan oleh Koalitis dan Founti [11] dengan memanaskan gipsum plasterboards (GP) pada laju pemanasan 60 K/menit (suhu 80-250°C).

### Kesimpulan

Gipsum hemihidrat yang dihasilkan mempunyai kemurnian 94,49% (sesuai dengan syarat mutu gips untuk plesteran) didapat dari proses pemanasan gipsum dengan furnace pada laju pemanasan 2,5°C/menit (suhu 30°C-130°C dan waktu 43 menit).

Pemodelan matematis proses reaksi dehidrasi gipsum didekati dengan persamaan kinetika reaksi semu orde satu dan mekanisme air bebas didekati dengan persamaan laju pengeringan, yang menghasilkan nilai parameter tetapan Arrhenius dan energi aktivasi sebesar  $A_1 = 6,7000 \times 10^{+18}$  (1/menit),  $E_1 = 1,5091 \times 10^{+5}$  (J/mol) dan  $A_2 = 2,4428 \times 10^{+9}$  (1/menit),  $E_2 = 7,6227 \times 10^{+4}$  (J/mol), dan dapat digunakan sebagai prediksi untuk mendapatkan produk gipsum hemihidrat yang diinginkan.

Hubungan koefisien perpindahan massa volumetris dan laju pemanasan didekati dengan persamaan  $k_y a = 0,8063 \left[ \frac{dT}{dt} \right]^{-1,0787}$  (berlaku untuk laju pemanasan 2,5°C/menit sampai 10°C/menit).

Hubungan koefisien perpindahan massa volumetris dan diameter partikel didekati dengan persamaan  $Sh = 0,000423 \left[ \frac{dp}{dw} \right]^{-0,6791}$  (berlaku untuk diameter partikel 0,09 mm sampai 0,5 mm).

### Daftar Notasi

$A$	=	luas area perpindahan massa, $m^2$
$A_1$	=	tetapan Arrhenius reaksi 1, $\frac{1}{\text{menit}}$
$A_2$	=	tetapan Arrhenius reaksi 2, $\frac{1}{\text{menit}}$
$\frac{dT}{dt}$	=	laju pemanasan, $\frac{oc}{\text{menit}}$
$d_p$	=	diameter partikel, mm
$d_w$	=	diameter wadah, mm
$E_1$	=	energi aktivasi reaksi 1, kJ/mol
$E_2$	=	energi aktivasi reaksi 2, kJ/mol
$k_1$	=	konstanta laju reaksi 1, $\frac{1}{\text{menit}}$
$k_2$	=	konstanta laju reaksi 2, $\frac{1}{\text{menit}}$
$k_y$	=	koefisien perpindahan massa air ke udara, $g/m^2/\text{menit}$
$k_{y,a}$	=	koefisien perpindahan massa volumetris, mmol air bebas/mmol $CaSO_4$ total/menit
$m_s$	=	massa padatan kering, g
$m_v$	=	massa yang teruapkan, g
$N$	=	flux laju pengeringan, g teruapkan/ $m^2/\text{menit}$
$N_c$	=	laju pengeringan konstan, g teruapkan/ $m^2/\text{menit}$
$R^2$	=	jumlah nilai selisih kuadrat antara data dan persamaan model
$Sh$	=	bilangan Sherwood
$x$	=	kadar air total, g air/ g padatan kering
$x_s$	=	kadar air bebas pada saat setimbang, mmol air bebas/mmol $CaSO_4$ total
$x_c$	=	kadar air bebas pada saat kritis, mmol air bebas/mmol $CaSO_4$ total
$x_1$	=	fraksi mol gipsum dihidrat terhadap $CaSO_4$ total, mmol/mmol
$x_2$	=	fraksi mol gipsum hemihidrat terhadap $CaSO_4$ total, mmol/mmol
$x_3$	=	fraksi mol air bebas terhadap $CaSO_4$ total, mmol/mmol
$x_4$	=	fraksi mol gipsum anhidrat terhadap $CaSO_4$ total, mmol/mmol
$y$	=	fraksi mol air pada udara, mmol/mmol
$y_s$	=	fraksi mol air pada saat setimbang antara udara dan gipsum, mmol/mmol

**Daftar Pustaka**

- [1] Indonesian Investment Coordinating Board, 2012, *Komoditi Gypsum*, (akses tanggal 27 November 2013).
- [2] Olson.D.W., 2001, *Gypsum*, U.S.Geological Survey Minerals Yearbook, p.35.1 – 35.5.
- [3] Bennett, R., 2006, *Electrically Conductive Building Material and Process for Producing It*, Prancis Patent No. WO 2006016200 AI.
- [4] Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmiah LIPI, 2009, *Gips untuk Plesteran (Pasal 36)*, Indonesian Science & Technology Digital Library, (akses 25 juli 2013).
- [5] Clifton, J.R., 1972, *Thermal Analysis of Calcium Sulfate Dihydrate and Supposed  $\alpha$  and  $\beta$  Forms of Calcium Sulfate from 25 to 500°C*, **J. Res. Natl. Bur. Stands-A, Phys. And Chem.**, Vol. 78A.
- [6] Treybal, R.E., 1981, “*Mass Transfer Operation*” 3 ed., pp.660-661, Mc-Graw Hill Book Company, Tokyo.
- [7] Ramachandran V.S., Paroli R.m., Beaudoin, J.J, dan Delgado, A.H., 2002, *Gypsum and Gypsum Product Handbook of Thermal Analysis of Construction Materials*, pp. 450-454, Noyes Publication, New York.
- [8] Elbeyli, I.Y., dan Piskin, S., 2003, *Thermal Dehydration Kinetic of Gypsum and Borogypsum under Non-isothermal Conditions*, **Chinese J. Chem. Eng.**, **12(2)**, 302-305.
- [9] Khalil, A.A., Hussein, A.T., dan Gad, G.M., 1971, *On the Thermochemistry of Gypsum*, **J. Appl. Chem. Biotech.**, 21: 314-316.
- [10] Kolaitis, D.I., dan Founti, M.A., 2013, *Development of a solid reaction kinetics gypsum dehydration model appropriate for CFD simulation of gypsum plasterboard wall assemblies exposed to fire*, **Fire Safety Journal**, **58**, 151–159