



**RECYCLE LIMBAH GYPSUM BOARD BEKAS BANGUNAN MENJADI
GYPSUM PLASTER**

Alinda Fitrotun Nisya

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia
Jalan Kaliurang Km 14.5 Yogyakarta 55584
Korespondensi: e-mail: alinda.nisya@uii.ac.id

Abstrak

Plaster of Paris atau gipsum hemihidrat memiliki banyak manfaat dalam kehidupan masyarakat, diantaranya sebagai bahan konstruksi maupun di bidang kesehatan. Penggunaan gipsum yang masif, menyebabkan penumpukkan limbah gipsum sehingga perlu dilakukan daur ulang gipsum agar dapat dipakai kembali. Jika air yang terkandung dalam kristal limbah gipsum menguap, gipsum dapat diaktifkan kembali menjadi gipsum hemihidrat. Pertama, sampel bahan baku disiapkan, kemudian dipanaskan untuk menghilangkan kandungan air bebas dari gipsum dihidrat, dan akhirnya, pemanasan dilakukan di furnace. Suhu pemanasan dan ukuran partikel adalah variabel penelitian ini. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari kinetika reaksi untuk menghasilkan produk gipsum hemihidrat untuk menentukan nilai parameter proses kecepatan reaksi. Persamaan kinetika reaksi orde satu dapat digunakan untuk memodelkan reaksi dehidrasi gipsum dari bahan bangunan ini. Nilai tetapan Arrhenius dan energi aktivasi masing-masing adalah $23269,0630 \text{ s}^{-1}$ dan $66395,8480 \text{ J/mol.K}$.

Kata kunci: *Gypsum, plaster, dehidrasi, kinetika*

Doi: <https://doi.org/10.29103/jtku.v13i1.15924>

1. Pendahuluan

Saat ini, produksi dan pemakaian gipsum untuk bahan bangunan sangatlah besar. Total produksi plasterboard/drywall secara keseluruhan sebesar 160 juta ton/tahun di dunia pada tahun 2023 (Statista, 2023) dan limbah gipsum yang dibuang diestimasi sebesar 7-8 juta ton pada tahun 2021 (Nikulicheva dkk., 2021).

Berdasarkan data (Badan Pusat Statistika, 2003) nilai impor plaster gipsum di Indonesia mencapai 4200 ton sehingga perlu adanya upaya untuk memenuhi kebutuhan nasional sehingga angka impor bisa ditekan. Limbah gipsum yang biasanya ditemukan merupakan campuran dari gipsum dihidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) yang berasal dari berbagai sumber seperti gipsum alam, gipsum hasil sisa gas desulfurisasi, dan produk dari gipsum (Jiménez-Rivero & García-Navarro, 2020).

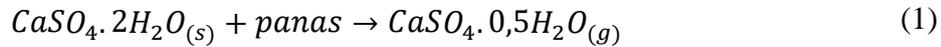
Gypsum banyak digunakan di bidang konstruksi seperti produksi semen, panel interior dan dekorasi. Selain itu, gypsum juga memiliki sifat resisten terhadap api. Panas yang ditimbulkan oleh api dan mengenai gypsum dapat mengubah gypsum dihidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) menjadi gypsum hemihidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) dan gypsum anhidrat (CaSO_4). Kondisi tersebut tergantung dari panas yang mengenai gypsum dan kandungan air pada gypsum (Lanzón dkk., 2022; Wang & Liu, 2023). Gypsum hemihidrat atau *plaster of Paris* telah digunakan kurang lebih 5000 tahun oleh bangsa Mesir sebagai bahan bangunan dan telah digunakan pula sebagai material pengisi tulang (Rey dkk., 2011).

Gypsum hemihidrat diperoleh dari gypsum dihidrat yang diperoleh dari alam atau disintesis. Gypsum dihidrat tersebut dipanaskan pada suhu di atas 100°C sehingga sebagian air molekulnya terlepas yang memiliki sifat tidak stabil. Energi panas yang tinggi diperlukan untuk melepaskan molekul air yang tersimpan di dalam gypsum tersebut. Gypsum hemihidrat yang bereaksi dengan air akan menjadikan air molekul yang ada di dalam gypsum kembali seperti semula seperti pada gypsum alam. Reaksi ini akan mengeluarkan panas yang tersimpan dalam gypsum hemihidrat, dan molekul gypsum yang terpisah akan bersatu kembali ke bentuk $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ yang stabil (Riyadi & Amalia, 2005).

Penelitian ini bertujuan untuk mengaktifkan kembali gypsum bekas bahan bangunan yang sudah tidak terpakai menjadi gypsum hemihidrat (*plaster of Paris*). Dalam hal ini, akan dipelajari mengenai pengaruh suhu dan ukuran partikel terhadap konversi. Selain itu akan dipelajari mengenai kinetika reaksi dehidrasi gypsum bekas bahan bangunan. Batuan gypsum yang berasal dari alam, biasanya bersifat agak liat jika digiling biasa sehingga perlu dipanaskan terlebih dahulu kurang lebih 65°C lalu digiling membentuk tepung. Kemudian, tepung tersebut dipanggang dalam tromol yang berputar sambil kulit tromol tersebut dipanaskan (Suhanda & Naniek, 1997).

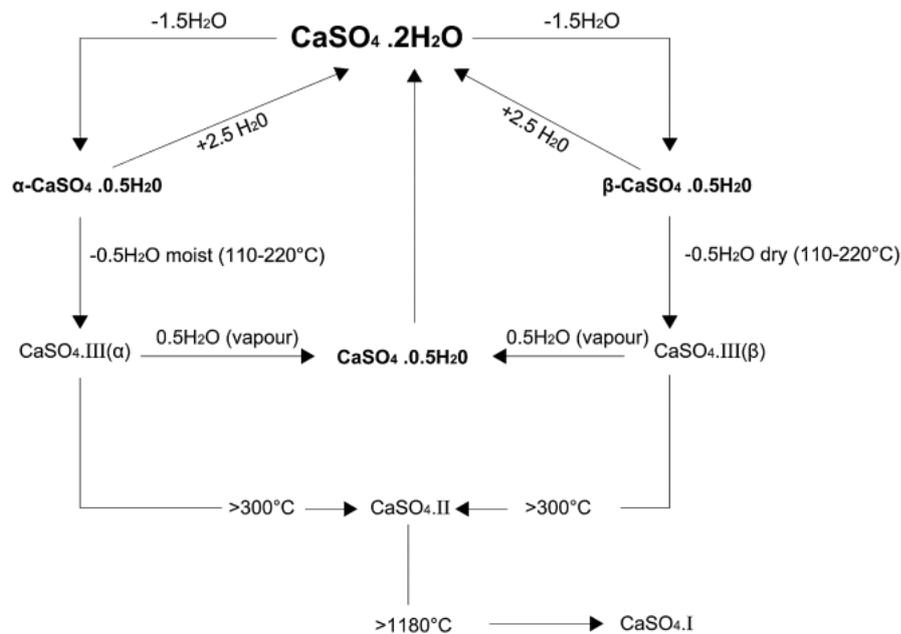
Pemanasan gypsum antara 110°C sampai 170°C merupakan dehidrasi mineral dengan mengusir kira-kira 75% kandungan air di dalam struktur kimianya. tekanan parsial dari H_2O merupakan faktor yang mempengaruhi suhu dan waktu yang dibutuhkan (Singh & Middendorf, 2007).

Reaksi yang terjadi pada proses dehidrasi gipsum dihidrat dapat dilihat pada persamaan (1)



Dehidrasi sebagian mineral disebut kasium sulfat hemihidrat atau gips, dan yang dikalsinasi umumnya dikenal sebagai *plaster of Paris* ($\text{CaSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), dengan n dalam kisaran 0,5 sampai 0,8 (Taylor, 1990). Pada pemanasan di atas 170 derajat Celcius, bentuk hampir bebas air yang disebut gamma-anhidrit ($\text{CaSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) dengan n = 0 hingga 0,05 dihasilkan. Pada pemanasan di atas 250 derajat Celcius, bentuknya berubah menjadi anhidrit yang dikenal sebagai gamma-anhidrit atau anhidrit alami. Bahkan selama periode geologi tertentu, anhidrit alami tidak bereaksi dengan air (Olson, 2001).

Pada laboratorium β – hemihidrat dihasilkan dari dihidrat dengan cara memanaskan pada tekanan parsial uap air yang rendah, contohnya pada udara kering atau vakum antara 45°C dan 200°C. α – hemihidrat dihasilkan dari dihidrat dibawah tekanan parsial uap air yang tinggi, contohnya pada suhu di atas 45°C pada larutan asam atau larutan garam. Reaksi pembentukan α – hemihidrat juga dapat terjadi pada suhu di atas 97,2°C pada tekanan di bawah tekanan uap air.



Gambar 1. Modifikasi dari $\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$

Proses dehidrasi gipsum dianalogikan sama dengan proses pengeringan. Pengeringan adalah proses penghilangan air dari padatan, larutan, slurry maupun pasta hingga dihasilkan produk padat dengan kadar air yang diinginkan. Berdasarkan perilaku pengeringannya, material dapat dikelompokkan menjadi 2 kategori yaitu granular dan padatan kristalin yang mengandung moisture pada pori – pori antar partikelnya dan material fiber, amorf, ataupun gel yang moisture nya terperangkap pada serat atau pori – pori halus (Henley & Seader, 1998).

Material granular atau kristalin biasanya berupa material inorganik, misalnya batu, pasir, katalis, zinc sulfat dan natrium fosfat. Material ini dapat dikeringkan dengan cepat sehingga mencapai kelembapan rendah. Sebaliknya, pengeringan pada bahan fiber, amorf, ataupun gel berjalan lambat dan dimungkinkan terjadi penyusutan (*shrinkage*).

2. Bahan dan Metode

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah gipsum bekas bahan bangunan yang dikumpulkan dari puing-puing bangunan. Penelitian ini terdiri dari tahap persiapan bahan baku dan pemanasan.

Pada tahap persiapan bahan baku, gipsum dihancurkan dan diayak dengan rentang ukuran -10+35 mesh, -35+60 mesh, -60+80 mesh, dan -80+170 mesh. Gipsum yang telah diayak kemudian ditimbang.

Pada tahap pemanasan dilakukan penimbangan terhadap sampel gipsum dihidrat dengan cara menimbang krus porselen dalam keadaan kosong terlebih dahulu, kemudian dilakukan penimbangan sampel ke dalam krus porselen. Setelah itu, dilakukan penghilangan air bebas pada gipsum dihidrat untuk selanjutnya diproses menjadi gipsum hemihidrat. Proses penghilangan air bebas dilakukan pada suhu 110°C sampai massa gipsum dihidrat konstan. Pada percobaan ini membutuhkan waktu 45 menit, kemudian massa sampel gipsum dihidrat yang sudah terusir kandungan air bebasnya ditimbang. Setelah berat konstan, sampel dipanaskan dalam furnace pada variasi suhu 150°C, 175°C, 200°C, 225°C, dan 250°C.

Pada percobaan ini dihitung mol H₂O yang hilang dari padatan dengan mengukur pengurangan massa padatan. Reaksi yang terjadi pada penelitian ini merupakan reaksi orde satu sehingga persamaan kinetika yang terjadi (Fogler, 2006) adalah:

$$-r_A = kC_A \quad (2)$$

Sistem yang digunakan pada penelitian ini adalah sistem *batch* sehingga setelah disusun neraca massa, diperoleh persamaan:

$$-r_A = \frac{dC_A}{dt} \quad (3)$$

Persamaan (2) dan persamaan (3) disubstitusi sehingga didapatkan persamaan (4)

$$kC_A = \frac{dC_A}{dt} \quad (4)$$

Apabila $C_A = C_{A0}(1 - x_A)$ maka:

$$k = \frac{1}{t} \ln \left(\frac{1}{1-x} \right) \quad (5)$$

Untuk mencari hubungan suhu dengan kecepatan reaksi dapat digunakan persamaan Arrhenius

$$k = Ae^{\left(-\frac{E_A}{RT}\right)} \quad (6)$$

3. Hasil dan Diskusi

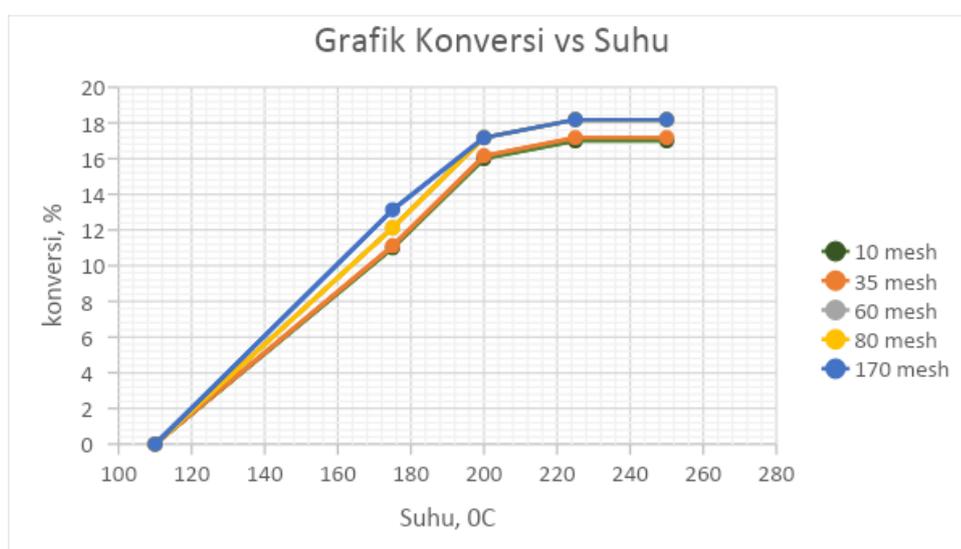
Dehidrasi gipsum terjadi dalam dua tahap. Pada tahap pertama, air bebas dikeluarkan dari struktur kimia kristal gipsum; pada tahap kedua, air sebesar 75% dihilangkan, menghasilkan produk gipsum hemihidrat. Dehidrasi gipsum dicapai melalui pemanasan pada suhu tertentu. Suhu pemanasan dan ukuran partikel digunakan dalam penelitian ini.

Penelitian ini mempelajari pengaruh suhu dan ukuran partikel terhadap proses dehidrasi gipsum, dan menentukan parameter proses berupa laju reaksi (k) sebagai fungsi suhu. Proses pemanasan gipsum merupakan reaksi dehidrasi gipsum hemihidrat. Proses ini ditandai dengan berkurangnya massa gipsum. Suhu pemanasan merupakan salah satu variabel proses yang dapat mempengaruhi reaksi dehidrasi gipsum. Variabel lain dalam penelitian ini adalah ukuran partikel gipsum.

Pada proses penghilangan kandungan air bebas, terlihat massa sampel berkurang 0,01 gram untuk sampel dengan ukuran 10 mesh dan 35 mesh. Untuk

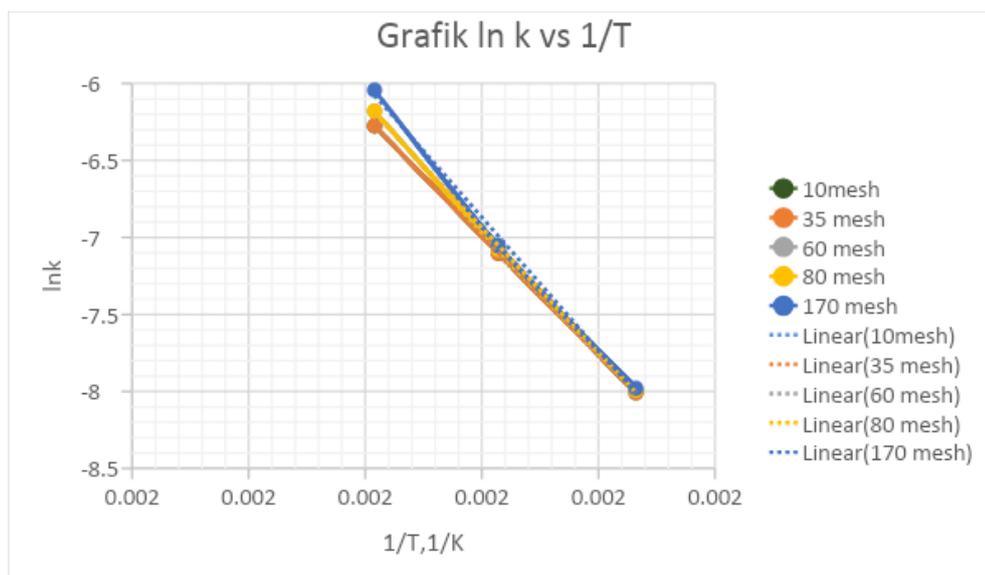
sampel dengan ukuran 60 mesh dan 80 mesh massa sampel berkurang 0,02 gram dan untuk ukuran sampel 170 mesh massa sampel berkurang 0,03 gram. Hal tersebut menunjukkan semakin kecil ukuran partikel gipsum, maka air bebas yang terusir akan semakin mudah. Hal tersebut disebabkan oleh luas permukaan transfer massa semakin besar apabila ukuran partikel semakin kecil.

Untuk melihat pengaruh variabel suhu, digunakan proses pemanasan menggunakan furnace dengan laju pemanasan 5°C/menit dan ditahan pada waktu 30 menit. Proses pemanasan dilakukan pada suhu 175°C, 200°C, 225°C dan 250°C.



Gambar 2. Grafik Konversi vs Suhu

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu pemanasan, maka konversi akan semakin tinggi. Namun, pada saat suhu 225°C sampai suhu 250°C, konversi yang terjadi sudah mulai konstan yaitu sebesar 18% untuk ukuran partikel 10 mesh dan 35 mesh, sedangkan untuk ukuran partikel 60 mesh sampai 170 mesh sebesar 19%. Ukuran partikel adalah salah satu variabel yang dapat mempengaruhi laju penguapan. Semakin kecil ukuran partikel akan memperbesar luas permukaan bahan dan dapat mempercepat penguapan. Hal tersebut dapat dilihat pada profil hubungan suhu dan konversi pada berbagai ukuran partikel gipsum.



Gambar 3. Grafik ln k vs 1/T

Berdasarkan gambar 3, terdapat berbagai persamaan garis yang serupa dengan persamaan Arrhenius, yaitu $k = \ln A + \frac{-E_A}{RT}$. Sehingga variabel y pada persamaan garis mewakili $\ln k$, intersep mewakili $\ln A$ dan slope mewakili $-E_A/R$ sedangkan x mewakili $1/T$.

Pada persamaan garis tersebut diambil intersep rata – rata, sehingga menghasilkan nilai intersep 10,0549 dan nilai slope sebesar -8050,9800. Sehingga persamaan garis menjadi $y = 10,0549 - 8050,9800x$. Dari persamaan garis tersebut, didapatkan hasil $\ln A = 10,0549$. Sehingga nilai konstanta Arrhenius (A) sebesar 23269,0630 s⁻¹. Sedangkan nilai $-EA/R$ sebesar -8050,9800 sehingga nilai energi aktivasi (EA) adalah 66935,8480 J/molK.

4. Simpulan dan Saran

Pemanasan gipsum bekas bahan bangunan dapat menjadi metode alternatif dalam penanganan limbah gipsum bekas yang mencemari lingkungan agar dapat digunakan kembali sebagai plaster. Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu pemanasan, konversi yang diperoleh akan semakin tinggi sehingga konversi maksimum dicapai pada suhu 225°C. Selain itu, konversi juga dipengaruhi oleh ukuran partikel. Semakin kecil ukuran partikel, konversi yang

dihasilkan akan lebih besar dengan suhu reaksi yang sama. Reaksi pada proses dehidrasi gipsum bekas bahan bangunan menjadi gipsum hemihidrat dapat didekati dengan reaksi orde 1 sehingga didapatkan nilai konstanta Arrhenius sebesar $0,9279 \text{ s}^{-1}$ dan energi aktivasi sebesar $28222,5380 \text{ J/mol.K}$.

Pada penelitian selanjutnya, perlu ditinjau pengaruh transfer massa dan aspek ekonomi pada daur ulang gipsum dihidrat menjadi gipsum hemihidrat sehingga dapat diketahui kelayakannya untuk dilakukan *scale-up*.

5. Daftar Pustaka

1. Badan Pusat Statistika. (2003) *Data Ekspor Impor Nasional*.
2. Fogler, H. S. (2006). *Elements of Chemical Reaction Engineering*. Prentice Hall.
3. Henley, E. J., & Seader, J. D. (1998). *Separation Process Principles Chemical and Biochemical Operation*. John Willey and Sons.
4. Jiménez-Rivero, A., & García-Navarro, J. (2020). Management of end-of-life gypsum in a circular economy. Dalam *Advances in Construction and Demolition Waste Recycling* (hlm. 69–79). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819055-5.00005-X>
5. Lanzón, M., Castellón, F. J., & Ayala, M. (2022). Effect of the expanded perlite dose on the fire performance of gypsum plasters. *Construction and Building Materials*, 346, 128494. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128494>
6. Nikulicheva, T. B., Nikulin, I. S., Pilyuk, E. A., Voropaev, V. S., Alfimova, N. I., Nikulichev, V. B., & Saenko, M. Y. (2021). Recycling and disposal of gypsum-containing waste generated in the production of citric acid. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 845(1), 012152. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/845/1/012152>
7. Olson, D. W. (2001). *Gypsum*. U.S. Geological Survey Minerals Yearbook.
8. Rey, C., Combes, C., Drouet, C., & Grossin, D. (2011). Bioactive Ceramics: Physical Chemistry. Dalam *Comprehensive Biomaterials* (hlm. 187–221). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-055294-1.00178-1>
9. Riyadi, M., & Amalia. (2005). *Buku Ajar Teknologi Bahan I*. Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta.
10. Singh, N. B., & Middendorf, B. (2007). Calcium sulphate hemihydrate hydration leading to gypsum crystallization. *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, 53(1), 57–77. <https://doi.org/10.1016/j.pcrysgrow.2007.01.002>

11. Statista. (2023). *Mine production of gypsum worldwide from 2010 to 2023*. <https://www.statista.com/statistics/1006964/global-gypsum-production/#:~:text=In%202023%2C%20the%20global%20production,of%20261%20million%20metric%20tons>.
12. Suhandi, & Naniek. (1997). Pemurnian dan Pengaktifan Gypsum Bekas dari Industri Keramik dengan Cara Kimia dan Fisika. *Jurnal Keramik dan Gelas Indonesia*, 6(1).
13. Taylor, H. F. W. (1990). *Cement Chemistry*. Academic Press.
14. Wang, J., & Liu, E. (2023). Physicomechanical Properties of Gypsum with Mineral Additions at Elevated Temperatures. *Coatings*, 13(12), 2091. <https://doi.org/10.3390/coatings13122091>