

BAB II

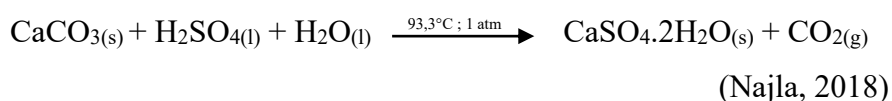
URAIAN PROSES

2.1. Konsep Proses

2.1.1. Dasar Reaksi

Proses produksi gipsum serta karbon dioksida dari batuan kapur serta asam sulfat adalah reaksi pengasaman. Larutan yang dimanfaatkan untuk produksi gipsum merupakan larutan anorganik. Bila produksi gipsum dilaksanakan pada reaktor tangki berpengaduk kontinyu atau *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR), bahan bakunya adalah asam sulfat serta batu kapur yang mengandung bahan berbeda, ditempatkan secara bersamaan dari atas reaktor. (Perdana & Hidayat, 2022)

Berikut adalah reaksi umum yang terjadi pada pembuatan gipsum dari batu kapur dan asam sulfat:



2.1.2. Kondisi Operasi

Kondisi operasi pada reaktor saat suhu $93,3^\circ\text{C}$ serta tekanan 1 atm digunakan guna membentuk gipsum. Transformasi gipsum adalah 90%. Komparasi berat kapur serta asam sulfat yang dimasukkan ke dalam reaktor yaitu 1 : 2 dengan lamanya di dalam reaktor yaitu 5 sampai 10 menit. (Perdana & Hidayat, 2022)

2.1.3. Sifat Reaksi

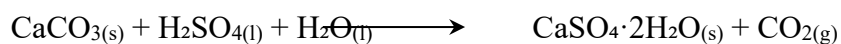
Pengujian termodinamika bertujuan guna mencari tahu sifat reaksi (endotermik/eksotermik) juga haluan reaksi (*reversible/irreversible*). Penetapan kalor suatu reaksi eksotermik atau endotermik bisa diukur dengan menghitung kalor pembentukan standar (ΔH°_f) dengan tekanan $P = 1 \text{ atm}$ serta $T = 298 \text{ }^\circ\text{K}$. (Perdana & Hidayat, 2022). Tabel di bawah merupakan harga ΔH°_f pada suhu $298 \text{ }^\circ\text{K}$ untuk setiap komponen disajikan dalam 2.1 :

Tabel 2. 1 Harga Molekul serta ΔH°_f Setiap Komponen

Komponen	Berat Molekul (kg/kmol)	ΔH°_f (kkal/kmol)
CaCO ₃	100	-289,54
H ₂ SO ₄	98	-193,69
H ₂ O	18	-68,3174
CaSO ₄	136	-338,73
SiO ₂	60	-203,35
MgCO ₃	84	-261,7
Al ₂ O ₃	102	-399,09
Fe ₂ O ₃	160	-198,5
CaSO ₄ ·2H ₂ O	172	-479,33
CO ₂	44	-94,052

(Perdana & Hidayat, 2022)

Perubahan entalpi standar reaksi (ΔH°_R) merupakan perbedaan antara jumlah entalpi pembentukan standar dari produk dan reaktan pada suhu 298 K. Reaksi yang dianalisis dalam penelitian ini adalah reaksi antara kalsium karbonat (CaCO₃), asam sulfat (H₂SO₄), dan air (H₂O) yang menghasilkan kalsium sulfat dihidrat (CaSO₄·2H₂O) dan karbon dioksida (CO₂). Persamaan reaksinya dituliskan sebagai berikut:



Berdasarkan data ΔH°_f (entalpi pembentukan standar) dari masing-masing komponen pada suhu 298 K yang disajikan pada Tabel 2.1 diatas, dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ_R &= \Delta H^\circ_f (\text{produk}) - \Delta H^\circ_f (\text{reaktan}) \\ &= [\Delta H^\circ_f (\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) + \Delta H^\circ_f (\text{CO}_2)] - [\Delta H^\circ_f (\text{CaCO}_3) + \Delta H^\circ_f (\text{H}_2\text{SO}_4) + \Delta H^\circ_f (\text{H}_2\text{O})] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= [-479,33 + (-94,052)] - [-289,54 + (-193,69) + (-68,3174)] \\
&= -573,382 - (-551,5474) \\
&= -21,8346 \text{ kcal/mol}
\end{aligned}$$

Hasil perhitungan diatas menunjukkan bahwa nilai $\Delta H^\circ R$ adalah $-21,83 \text{ kcal/mol}$, yang berarti reaksi berlangsung secara eksoterm karena melepaskan kalor ke lingkungan (nilai negatif). Secara termodinamika, reaksi eksoterm menunjukkan kestabilan produk yang lebih tinggi dibandingkan reaktan, serta secara kinetika dapat mempercepat laju reaksi awal. Hal tersebut sepadan dengan persamaan dibawah ini :

$$\frac{d \ln K}{d T} = \frac{\Delta H}{RT}$$

Dapat dipahami bahwa penurunan suhu akan meningkatkan nilai konstanta kesetimbangan K pada reaksi eksoterm. Oleh karena itu, pengendalian suhu sangat penting dalam perancangan reaktor agar reaksi tetap berlangsung optimum ke arah pembentukan produk ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dan CO_2) (Najla, 2018). Selain perubahan entalpi, perhitungan energi bebas Gibbs standar (ΔG) juga penting untuk mengevaluasi spontanitas reaksi. ΔG dihitung menggunakan persamaan:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

Dengan suhu $T = 298 \text{ K}$. Nilai ΔS merupakan perubahan entropi standar reaksi yang dihitung dari selisih antara entropi total produk dan reaktan:

$$\begin{aligned}
\Delta S &= S (\text{produk}) - S (\text{reaktan}) \\
&= [S(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) + S(\text{CO}_2)] - [S(\text{CaCO}_3) + S(\text{H}_2\text{SO}_4) + S(\text{H}_2\text{O})] \\
&= (194,0 + 213,74) - (92,9 + 156,9 + 69,91) \\
&= 407,74 - 319,71 \\
&= 88,03 \text{ J/mol} \cdot \text{K} = 0,08803 \text{ kcal/mol} \cdot \text{K}
\end{aligned}$$

Kemudian dihitung nilai ΔG :

$$\begin{aligned}\Delta G &= -21,8346 - (298 \times 0,08803) \\ &= -21,8346 - 26,2469 \\ &= -48,0815 \text{ kcal/mol}\end{aligned}$$

Nilai ΔG yang negatif menandakan bahwa reaksi berlangsung spontan secara termodinamika pada kondisi standar. Artinya, tanpa perlu masukan energi eksternal, reaksi akan cenderung berlangsung menuju pembentukan produk, yakni $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dan CO_2 . Hal ini mendukung efisiensi proses reaksi dalam sistem, dan dapat digunakan sebagai dasar pertimbangan dalam optimasi proses industri seperti produksi gipsum dari batu kapur dan asam sulfat.

2.2. Langkah Proses

2.2.1. Langkah Penyiapan Bahan Baku

Batu kapur ditempatkan di penyimpanan pada suhu 30°C serta tekanan 1 atmosfer. Batu kapur padat dari penyimpanan dibawa dengan belt conveyor, diangkut dengan *bucket elevator*, dan disimpan di bunker terlebih dahulu. Batu kapur diumpankan dari *hopper* ke konveyor sekrup. Batu kapur padat terlebih dahulu dihancurkan menjadi potongan-potongan kecil memakai penghancur jenis *jaw crusher*. Batu kapur diumpankan dari *crusher* ke konveyor ulir yang bertindak sebagai pengumpan. Batu kapur tersebut kemudian ditempatkan ke dalam reaktor kemudian diproses. Selain batu kapur, bahan baku terpenting adalah asam sulfat. Pertama, asam sulfat ditempatkan pada tangki dengan suhu 30°C serta tekanan 1 atm. Kandungan asam sulfat sebesar 98%. Asam sulfat lalu dipompa ke dalam blender dan dicairkan dengan air sehingga memperoleh kadar 50%. Konsentrasi 50% adalah kondisi ideal untuk memaksimalkan pembentukan kristal kalsium sulfat dihidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) atau gipsum dengan kemurnian tinggi. Blender juga memiliki filter

daur ulang (setelah proses awal berlangsung) (Najla, 2018).
Molaritas yang di dapat yaitu:

$$M = \frac{\% \times \text{massa jenis} \times 10}{\text{massa molar}} \quad (2.1)$$

$$M = \frac{50\% \times 1,84 \times 10}{98, \text{g/mol}} \quad (2.2)$$

$$M = 9,3878 \quad (2.3)$$

2.2.2. Langkah Pembentukan Produk

Tujuan pada tahap ini adalah pembentukan gipsum hasil reaksi antar batu kapur dengan campuran asam sulfat. Reaksi pada reaktor berlangsung dengan tekanan 1 atm serta suhu 93,33°C. Menggunakan reaktor RATB. Batu kapur dimasukkan ke reaktor dengan suhu 30°C, asam sulfat keluar dari blender dengan suhu 93,33°C serta tekanan 1 atm. Reaksi berlangsung di dalam reaktor bersifat eksotermik serta suhu produk yang keluar dari reaktor adalah 93,33°C. Reaksi ini tidak hanya membentuk kalsium sulfat dihidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) tetapi juga karbon dioksida (CO_2) yang dilepaskan langsung ke lingkungan. Bubur yang keluar dipompa ke filter vakum drum berputar yang kemudian diproses oleh peralatan berikutnya yaitu pengering putar. (Perdana & Hidayat, 2022)

2.2.3. Langkah Pemisahan dan Pemurnian Produk

Tahap separasi dimaksudkan guna memisahkan air gipsum juga asam sulfat. Filter vakum drum yang berputar digunakan untuk proses pemisahan ini. Output dari filter beroperasi dengan suhu 93,3 °C serta 1 atm menghasilkan gipsum semacam *cake* serta larutan asam sulfat semacam filtrat. *Cake* gipsum yang keluar dari filter dikirim melalui konveyor ulir ke pengering putar yang beroperasi dengan suhu 80°C serta tekanan 1 atmosfer, di mana ia mengalami tahap pencucian, yaitu tahap untuk mereduksi cairan. (Perdana & Hidayat, 2022)

Proses pemurnian bungkil gipsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) memiliki tujuan guna meningkatkan otentitas bungkil gipsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) yang dihasilkan dengan cara penyaringan, mengingat keotentikan *cake* gipsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) yang produksinya masih rendah. Itu tidak cocok dengan apa yang tersedia secara komersial. Prosedur pencuciannya memanfaatkan mesin pengering putar *direct/counterflow*, dan proses pengeringannya memanfaatkan udara panas yang dihembuskan dari udara kering yang dipanaskan oleh *heat exchanger* dengan uap menjadi pemanasnya. (Najla, 2018)

Pengering putar memiliki kandungan $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ sebanyak 91,25%, melebihi kandungan pada pasaran yang sebanyak 91%. Produk yang keluar dari pengering putar kemudian diangkut dengan elevator ember ke silo tempat produk gipsum disimpan sementara, kemudian dikirim ke unit pengemasan, dikemas, dan disimpan di gudang sebagai produk utama. Sedangkan pada komponen bawah filter dihasilkan filtrat berbentuk air serta asam sulfat dikembalikan ke blender. Air serta asam sulfat yang ada di area keluar pengering putar keluar bersamaan dengan udara panas. Campuran sulfat serta air kemudian dikirim ke UPL (Upaya Pemantauan Lingkungan) untuk diolah. (Najla, 2018).