



---

## BAB II

### SELEKSI DAN URAIAN PROSES

#### II.1 Macam Proses

Pada pembuatan sodium dodecylbenzene sulfonate terdiri dari 2 tahap, yaitu tahap sulfonasi dan tahap netralisasi. Tahap sulfonasi ini dapat digunakan dengan beberapa macam proses, sehingga dibutuhkan seleksi untuk mendapatkan hasil yang optimal. Berikut 3 macam proses pembuatan sodium dodecylbenzene sulfonate antara lain:

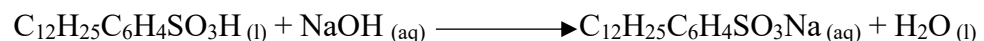
##### 1. Reaksi Sulfonasi dengan Asam Sulfat

Proses sulfonasi dengan mereaksikan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  sebagai sulfonating agent merupakan cara yang pertama kali dilakukan. Proses ini dapat terjadi di dalam reaktor alir tangki berpengaduk baik secara batch maupun kontinyu. Asam sulfat yang digunakan sebagai sulfonating agent adalah  $\text{H}_2\text{SO}_4$  98-100% yang menghasilkan dodecylbenzene sulfonic acid dan air. Proses ini berlangsung pada temperatur  $55^\circ\text{C}$  dengan tekanan 1 atm dengan perbandingan mol dodecylbenzene dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  sebesar 1:3 (Othmer, 2001).

Reaksi sulfonasi:



Reaksi netralisasi:



Kemudian produk dari sulfonasi yang berupa dodecylbenzene sulfonate acid direaksikan dengan NaOH 20% yang menghasilkan produk akhir yaitu sodium dodecylbenzene sulfonate.

##### 2. Reaksi Sulfonasi dengan Oleum

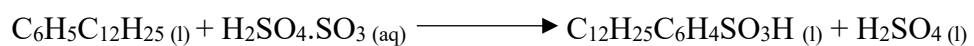
Proses sulfonasi dengan Oleum 20% reaksi terjadi pada reaktor alir tangki berpengaduk dengan suhu reaksi  $60^\circ\text{C}$  dan tekanan 1 atm. Oleum 20% ( $1.3\text{SO}_3 \cdot 1\text{H}_2\text{O}$ ) terdiri dari 22% berat  $\text{SO}_3$  murni dan 78% berat asam



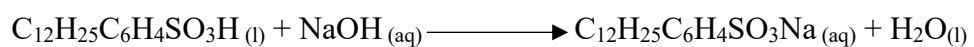
## Pra Rancangan Pabrik “Sodium Dodecylbenzene Sulfonate Dari Dodecylbenzene Dan Sulfuric Acid Dengan Proses Sulfonasi Dan Netralisasi”

sulfat ( $\text{H}_2\text{O} \cdot \text{SO}_3$ ) murni. Oleum yang digunakan pada reaksi ini adalah oleum 20% dengan perbandingan mol antara dodekilbenzene dan oleum 20% adalah 1: 1,25. Dodecylbenzene dan oleum 20% dialirkan ke dalam reaktor dengan hasil keluaran berupa asam Dodecylbenzene Sulfonate dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dengan sedikit air (Peters and Timmerhaus, 1991).

Reaksi sulfonasi:



Reaksi netralisasi:

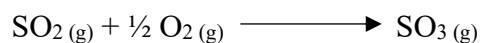


Asam sulfat yang terbawa diencerkan dengan menggunakan air. Tujuan pengenceran dilakukan agar asam sulfat dapat terpisahkan dengan produk utama. Dodecylbenzene sulfonate acid yang terbentuk dinetralkan dengan NaOH 20% pada tangki neutralizer sehingga didapatkan produk sodium dodecylbenzene sulfonate dengan impuritis  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

### 3. Reaksi Sulfonasi dengan $\text{SO}_3$

Pada pembuatan sodium dodekilbenzen sulfonat dengan gas  $\text{SO}_3$  terdiri dari empat tahapan yaitu proses pemanasan sulfur, oksidasi gas  $\text{SO}_2$  menjadi  $\text{SO}_3$ , proses sulfonasi dan proses netralisasi. Pengeringan udara dalam proses ini bertujuan untuk menghilangkan kandungan air yang terdapat di udara dan apabila diudara masih terdapat kandungan air dalam jumlah yang cukup banyak maka akan mengakibatkan terbentuknya oleum pada reaksi antara  $\text{H}_2\text{O}$  dengan  $\text{SO}_3$ , serta menyebabkan kualitas warna sodium dodekilbenzen sulfonat menjadi rendah.

Reaksi antara  $\text{SO}_2$  dan  $\text{O}_2$ :



Reaksi Sulfonasi:



Reaksi netralisasi:





Reaksi sulfonasi berlangsung dalam satu reaktor gelombang, suhu reaksi 60°C dan tekanan 1,5 atm (Kirk and Othmer, 1998). Selain sangat mudah terbentuknya reaksi samping yang tidak diinginkan, biaya produksi proses sulfonasi dengan gas SO<sub>3</sub> cenderung lebih mahal.

## II.2 Seleksi Proses

Berdasarkan uraian macam-macam proses diatas, maka dapat diuraikan pertimbangan dalam pemilihan proses yang akan digunakan. Berikut kelebihan dan kekurangan dari masing-masing proses:

Tabel II. 1 Perbandingan Proses Pembuatan Sodium Dodecylbenzene Sulfonate

No	Parameter	Macam-Macam Proses		
		Sulfonasi	Sulfonasi	Sulfonasi
1	Bahan Baku	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Oleum 20%	Gas SO <sub>3</sub>
2	Reaktor	RATB	RATB	Reaktor Gelembung
3	Tekanan	1 atm	1 atm	1,5 atm
4	Temperature	55°C	60°C	60°C
5	Konversi	98%	98%	99%
6	Hasil samping	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> & Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>

Berdasarkan tabel diatas, maka dapat dipilih proses yang dipakai yaitu proses reaksi sulfonasi dengan mereaksi dengan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Alasan pemilihan proses tersebut diantaranya:

1. Bahan baku mudah didapat dan relatif lebih murah dari bahan baku proses lainnya
2. Kondisi operasi baik tekanan maupun temperature rendah sehingga biaya yang dikeluarkan lebih murah dan energi yang dibutuhkan juga lebih sedikit.



### II.3 Tinjauan Thermodinamika

Penentuan sifat reaksi berjalan secara eksotermis atau endotermis dapat ditinjau dari panas pembentukan reaksi standar ( $\Delta H^\circ_R$ ). Nilai  $\Delta H^\circ_R$  dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut (Perry, 2007):

$$\Delta H^\circ_R = \Delta H^\circ_f \text{ produk} - \Delta H^\circ_f \text{ reaktan}$$

Nilai panas pembentukan masing-masing komponen dapat ditentukan dengan menggunakan Metode Joback sebagai berikut:

$$\Delta H^\circ_f = 68,29 + \sum_{i=1}^n N_i \cdot \Delta H_i$$

dengan,

f: Panas pembentukan pada suhu standar(kJ/mol)

n: Jumlah kelompok atom yang berbeda dalam molekul

Ni: Jumlah kelompok atom i dalam molekul

Hi: Nilai entalpi kelompok atom i

Tabel II. 2 Nilai Panas Pembentukan Kelompok Atom

Type	Molekul	Entalpi (kJ/mol)
<i>Nonring increments</i>	=CH <sub>3</sub>	-76,45
	-CH <sub>2</sub> -	-20,64
<i>Ring increments</i>	=CH-	2,09
	=C=	46,43
<i>Oxygen increments</i>	-OH	-208,04
	=O	-247,61
<i>Sulfur increments</i>	-S-	41,87

a) Reaksi Sulfonasi



Pra Rancangan Pabrik  
“Sodium Dodecylbenzene Sulfonate Dari Dodecylbenzene Dan Sulfuric Acid Dengan Proses Sulfonasi Dan Netralisasi”

Pembentukan nilai panas pembentukan dodecylbenzene sulfonic acid mengikuti persamaan pada suhu 298,15 K yaitu:

$$\begin{aligned}\Delta H^{\circ}f C_{18}H_{30}SO_3 &= 68,29 + ((-76,45) + 11 \times (-20,64) + 2 \times 46,43 + 4 \times 2,09 + \\ &41,87 + 2 \times (-247,61) + (-208,04)) \\ &= -795,37 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H^{\circ}f C_{18}H_{30} &= 68,29 + ((-76,45) + 11 \times (-20,64) + 46,43 + 5 \times 2,09 \\ &= -178,32 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H^{\circ}f H_2SO_4 &= 68,29 + 2 \times (-208,04) + 41,87 + 2 \times (-247,61) \\ &= -801,14 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

$$\Delta H^{\circ}f H_2O = -285,8 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H^{\circ}R = \Delta H^{\circ}f \text{ produk} - \Delta H^{\circ}f \text{ reaktan}$$

$$\begin{aligned}&= (\Delta H^{\circ}f C_{18}H_{29}SO_3H + \Delta H^{\circ}f H_2O) - (\Delta H^{\circ}f C_{12}H_{25}C_6H_5 + \Delta H^{\circ}f H_2SO_4) \\ &= (-795,37 + (-285,8)) - (-178,32 + (-801,14)) \\ &= -101,71 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Nilai  $\Delta H^{\circ}R$  yang negatif menunjukkan reaksi sulfonasi yang menghasilkan dodecylbenzene sulfonic acid merupakan reaksi eksotermis.

b) Reaksi Netralisasi

Pembentukan nilai panas pembentukan sodium dodecylbenzene sulfonate mengikuti persamaan pada suhu 298,15 K yaitu:

$$\begin{aligned}\Delta H^{\circ}f C_{18}H_{29}SO_3Na &= 68,29 + ((-76,45) + 11 \times (-20,64) + 2 \times 46,43 + 4 \times 2,09 \\ &41,87 + 2 \times (-247,61) + (-416)) \\ &= -1003,3 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H^{\circ}f C_{18}H_{30}SO_3 &= 68,29 + ((-76,45) + 11 \times (-20,64) + 2 \times 46,43 + 4 \times 2,09 + \\ &41,87 + 2 \times (-247,61) + (-208,04)) \\ &= -795,37 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

$$\Delta H^{\circ}f NaOH = -360 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H^{\circ}f H_2O = -285,8 \text{ kJ/mol}$$



Pra Rancangan Pabrik  
“Sodium Dodecylbenzene Sulfonate Dari Dodecylbenzene Dan Sulfuric Acid Dengan Proses Sulfonasi Dan Netralisasi”

$$\begin{aligned}\Delta H^{\circ}R &= \Delta H^{\circ}f \text{ produk} - \Delta H^{\circ}f \text{ reaktan} \\ &= (\Delta H^{\circ}f \text{ C}_{18}\text{H}_{29}\text{Na} + \Delta H^{\circ}f \text{ H}_2\text{O}) - (\Delta H^{\circ}f \text{ C}_{18}\text{H}_{30}\text{SO}_3 + \Delta H^{\circ}f \text{ NaOH}) \\ &= (-1003,3) + (-285,8) - (-795,37-360) \\ &= -133,73 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Nilai  $\Delta H^{\circ}R$  yang negatif menunjukkan reaksi netralisasi pembuatan sodium dodecylbenzene sulfonate merupakan reaksi eksotermis.

### Energi Gibbs

Penentuan reaksi bisa berlangsung atau tidak dapat ditinjau dari nilai  $\Delta GR$  dengan mengikuti persamaan berikut.

$$\Delta G_R = \Delta G_f \text{ produk} - \Delta G_f \text{ reaktan}$$

Nilai energi Gibbs pembentukan masing-masing komponen dapat ditentukan menggunakan metode joback

$$\Delta G^{\circ}f = 53,88 + \sum_{i=1}^n N_i \cdot \Delta G_i$$

Dengan,

$\Delta G^{\circ}f$ : Energi gibbs pembentukan pada suhu standar (kJ/mol)

n: Jumlah kelompok atom yang berbeda dalam molekul

$N_i$ : Jumlah kelompok atom i dalam molekul

$G_i$ : Nilai gibbs kelompok atom i

Tabel II. 3 Nilai Energi Gibbs Kelompok Atom

Tipe	Molekul	Energi Gibbs (kJ/mol)
<i>Nonring increments</i>	=CH <sub>3</sub>	-43,96
	-CH <sub>2</sub> -	-8,42
<i>Ring increments</i>	=CH-	11,30
	=C=	54,05



Pra Rancangan Pabrik  
 “Sodium Dodecylbenzene Sulfonate Dari Dodecylbenzene Dan Sulfuric Acid Dengan Proses Sulfonasi Dan Netralisasi”

<i>Oxygen increments</i>	-OH	-189,20
	=O	-250,83
<i>Sulfur increments</i>	-S-	33,12
<i>Sodium increments</i>	-Na	-377,1

a) Reaksi Sulfonasi

Pembentukan nilai energi gibbs pembentukan dodecylbenzene sulfonic acid mengikuti persamaan pada suhu 298,15 K yaitu:

$$\begin{aligned} \Delta G^{\circ}_f C_{18}H_{29}SO_3H &= 53,88 + ((-43,96) + 11 \times (-8,42) + 2 \times 54,05 + 4 \times 11,30 \\ &\quad + 33,12 + 2 \times (-250,83) + (-189,20)) \\ &= -587,14 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta G^{\circ}_f C_{12}H_{25}C_6H_5 &= 53,88 + ((-43,96) + 11 \times (-8,42) + 54,05 + 5 \times 11,30 \\ &= 27,85 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Nilai energi Gibbs pembentukan komponen lain dihitung dengan cara yang sama dan hasil selengkapnya dapat dilihat pada Tabel dibawah

Tabel II. 4 Energi Gibbs Tiap Komponen

Komponen	$\Delta G^{\circ}_f$ (kJ/mol)
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-880,21
H <sub>2</sub> O	-267,14

$$\begin{aligned} \Delta G^{\circ}_R &= \Delta G^{\circ}_f \text{ produk} - \Delta G^{\circ}_f \text{ reaktan} \\ &= (\Delta G^{\circ}_f C_{18}H_{29}SO_3H + \Delta G^{\circ}_f H_2O) - (\Delta G^{\circ}_f C_{12}H_{25}C_6H_5 + \Delta G^{\circ}_f H_2SO_4) \\ &= (-587,14 + (-267,14)) - (27,85 + (-880,21)) \\ &= -1,919 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Nilai  $\Delta G^{\circ}_R$  yang bernilai negatif menunjukkan reaksi pembuatan dodecylbenzene sulfonic acid berlangsung secara spontan.

Penentuan konstanta kesetimbangan reaksi pembuatan dodecylbenzene sulfonic acid pada suhu 298,15 K mengikuti persamaan dibawah

$$K_1 = \exp\left(-\frac{\Delta G^{\circ}_R}{R \cdot T_1}\right)$$



Pra Rancangan Pabrik  
“Sodium Dodecylbenzene Sulfonate Dari Dodecylbenzene Dan Sulfuric Acid Dengan Proses Sulfonasi Dan Netralisasi”

$$K_1 = \exp\left(-\frac{-1,919}{0,00198 \times 298,15}\right)$$

$$K_1 = 25,5576$$

reaksi terjadi pada suhu 55°C (328,15 K), besarnya nilai konstanta kesetimbangan dapat ditentukan mengikuti persamaan

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = -\frac{\Delta H^\circ_R}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$\frac{K_2}{K_1} = \exp\left(-\frac{\Delta H^\circ_R}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)\right)$$

$$K_2 = K_1 \exp\left(-\frac{\Delta H^\circ_R}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)\right)$$

$$K_2 = 25,5576 \exp\left(-\frac{-101,71}{0,00198} \left( \frac{1}{328,15} - \frac{1}{298,15} \right)\right)$$

$$K_2 = 25,4619$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan nilai Konstanta Kesetimbangan (K) lebih dari satu, sehingga reaksi berjalan searah (irreversible) kearah produk.

b) Reaksi Netralisasi

Pembentukan nilai energi gibbs pembentukan sodium dodecylbenzene sulfonate mengikuti persamaan pada suhu 298,15 K yaitu:

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ_f C_{18}H_{29}SO_3H &= 53,88 + ((-43,96) + 11 \times (-8,42) + 2 \times 54,05 + 4 \times 11,30 \\ &\quad + 33,12 + 2 \times (-250,83) + (-189,20)) \\ &= -587,14 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ_f C_{18}H_{29}SO_3Na &= 53,88 + ((-43,96) + 11 \times (-8,42) + 2 \times 54,05 + 4 \times \\ &\quad 11,30 + 33,12 + 2 \times (-250,83) + (-377,1)) \\ &= -775,04 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Nilai energi Gibbs pembentukan komponen lain dihitung dengan cara yang sama dan hasil selengkapnya dapat dilihat pada Tabel dibawah





Tabel II. 5 Energi Gibbs Tiap Komponen

Komponen	$\Delta G^{\circ}_f$ (kJ/mol)
NaOH	-459,07
H <sub>2</sub> O	-273,14

$$\begin{aligned}\Delta G^{\circ}_R &= \Delta G^{\circ}_f \text{ produk} - \Delta G^{\circ}_f \text{ reaktan} \\ &= (\Delta G^{\circ}_f \text{ C}_{18}\text{H}_{29}\text{SO}_3\text{Na} + \Delta G^{\circ}_f \text{ H}_2\text{O}) - (\Delta G^{\circ}_f \text{ C}_{18}\text{H}_{29}\text{SO}_3\text{H} + \Delta G^{\circ}_f \text{ NaOH}) \\ &= (-775,04 + (-273,14)) - (-587,14 + (-459,07)) \\ &= -1,966 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Nilai  $\Delta G^{\circ}_R$  yang bernilai negatif menunjukkan reaksi pembuatan sodium dodecylbenzene sulfonate berlangsung secara spontan.

Penentuan konstanta kesetimbangan reaksi pembuatan sodium dodecylbenzene sulfonate pada suhu 298,15 K mengikuti persamaan dibawah

$$\begin{aligned}K_1 &= \exp\left(-\frac{\Delta G^{\circ}_R}{R \cdot T_1}\right) \\ K_1 &= \exp\left(-\frac{-1,966}{0,00198 \times 298,15}\right) \\ K_1 &= 27,664\end{aligned}$$

Reaksi terjadi pada suhu 55°C (328,15 K), besarnya nilai konstanta kesetimbangan dapat ditentukan mengikuti persamaan

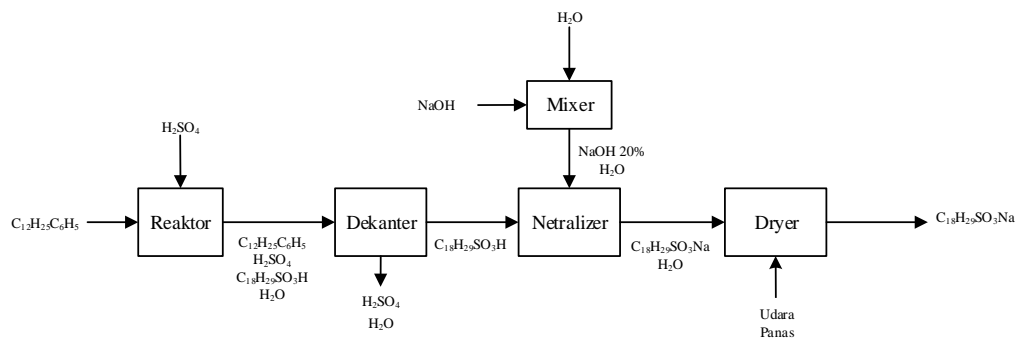
$$\begin{aligned}\ln \frac{K_2}{K_1} &= -\frac{\Delta H^{\circ}_R}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right) \\ \frac{K_2}{K_1} &= \exp\left(-\frac{\Delta H^{\circ}_R}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)\right) \\ K_2 &= K_1 \exp\left(-\frac{\Delta H^{\circ}_R}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)\right) \\ K_2 &= 27,664 \exp\left(-\frac{-133,73}{0,00198} \left(\frac{1}{328,15} - \frac{1}{298,15}\right)\right) \\ K_2 &= 27,529\end{aligned}$$



## Pra Rancangan Pabrik “Sodium Dodecylbenzene Sulfonate Dari Dodecylbenzene Dan Sulfuric Acid Dengan Proses Sulfonasi Dan Netralisasi”

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan nilai Konstanta Kesetimbangan (K) lebih dari satu, sehingga reaksi berjalan searah (irreversible) kearah produk.

### II.4 Uraian Proses



Gambar II. 1 Block Flow Diagram Pabrik Sodium Dodecylbenzene Sulfonate

Dodecylbenzene dan  $H_2SO_4$  dipanaskan dari suhu  $30^\circ C$  hingga  $55^\circ C$  pada tekanan 1 atm, kemudian dimasukkan ke dalam reaktor dengan perbandingan mol 1:3 pada suhu  $55^\circ C$  dan tekanan 1 atm. Reaksi yang terjadi di dalam reaktor yaitu:



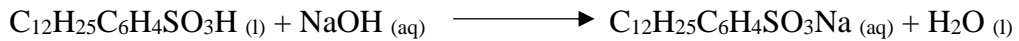
Reaksi ini menghasilkan panas berlebihan atau bersifat eksotermis, sehingga dipasang jacket pendingin pada reaktor untuk menjaga suhu reaksi tetap yaitu  $55^\circ C$ . Reaksi sulfonasi yang bekerja secara kontinyu pada suhu  $131^\circ F$  ( $55^\circ C$ ) dan tekanan 1 atm yang dijaga tetap untuk membentuk larutan Asam Dodecylbenzene Sulfonate. Produk yang keluar dari reaktor dipompa ke dekanter untuk memisahkan asam dodecylbenzene sulfonate, air, dan asam sulfat. Asam dodecylbenzene sulfonate dipompa keluar melalui bagian atas sebagai fraksi ringan. Air dan asam sulfat dialirkan keluar dari bawah sebagai fraksi berat. Asam dodecylbenzene sulfonate dipompa ke netralizer, sedangkan asam sulfat dan air dialirkan ke tangki penyimpanan. Bahan baku NaOH 98% dilarutkan menggunakan mixer dengan air



Pra Rancangan Pabrik  
“Sodium Dodecylbenzene Sulfonate Dari Dodecylbenzene Dan Sulfuric Acid Dengan Proses Sulfonasi Dan Netralisasi”

---

dari utilitas hingga kadar larutan NaOH 20%. Larutan NaOH 20% selanjutnya dipompa ke neutralizer. Pada netralizer terjadi reaksi asam dodecylbenzene sulfonate dengan larutan NaOH 20% membentuk sodium dodecylbenzene sulfonate dan air.



Reaksi terjadi pada suhu 55°C dan tekanan 1 atm. Reaksi antara larutan NaOH 20% dengan asam dodecylbenzene sulfonat bersifat eksotermis, sehingga untuk menjaga kondisi operasi pada keadaan isothermal dipasang jaket pendingin. Setelah reaksi netralisasi, produk sodium dodecylbenzene sulfonate dipompa menuju spray dryer untuk dikeringkan dengan mengontakkan udara panas kering sehingga didapatkan produk berupa powder atau bubuk.