

II. PEMILIHAN DAN URAIAN PROSES

Usaha produksi dalam pabrik kimia membutuhkan berbagai sistem proses dan sistem pemroses yang dirangkai dalam suatu sistem proses produksi yang disebut teknologi proses. Secara garis besar, sistem proses utama dari sebuah pabrik kimia adalah sistem reaksi serta sistem pemisahan dan pemurnian. Proses perubahan bahan baku menjadi produk terjadi dalam sistem reaksi. Sistem pemroses bagi sistem reaksi adalah reaktor. Sistem pemisahan dan pemurnian bertujuan agar hasil dari sistem pereaksian sesuai dengan permintaan pasar sehingga layak dijual.

A. Jenis-jenis Proses

Proses pembuatan *isobutyl palmitate* hanya ada satu yaitu esterifikasi, tetapi proses ini dapat menggunakan dua katalis yaitu asam sulfat dan *ion exchange resin Amberlyst 15*.

1. Esterifikasi Isobutyl Palmitat dan Asam Palmitat dengan menggunakan kataliasator heterogen yang berupa *ion exchanger* resin partikel yang kuat, yaitu Amberlyt 15 (Goto, 1984). Reaksi berlangsung dalam Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB) pada kondisi 107 °C, dan tekanan 1 atm. Konversi yang dihasilkan sebesar 55% dan reaksi berlangsung selama 3 jam.

2. Esterifikasi Isobutyl Palmitat dari Isobutyl Alkohol dan Asam Palmitat dengan menggunakan katalisator homogen yang berupa Asam Sulfat (Goto, 1991). Reaksi berlangsung dalam Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB) pada temperatur 107 °C dan tekanan 1 atm. Konversi yang dihasilkan sebesar 93,1% dan reaksi berlangsung selama 5 menit.

B. Pemilihan Proses

Pemilihan proses pembuatan Isobutyl Palmitat berdasarkan penggunaan katalis yang akan digunakan. Berikut adalah perhitungan ekonomi sebagai salah satu dasar pemilihan proses :

- Tinjauan Ekonomi

Tinjauan ekonomi ini bertujuan untuk mengetahui keuntungan yang dihasilkan oleh pabrik ini selama setahun dengan kapasitas 30.000 ton/tahun. Berikut ini perbandingan harga bahan baku dan harga produk pada tahun 2011.

1. Esterifikasi isobutyl palmitate dari asam palmitat dan isobutanol menggunakan katalis Amberlyst-15

Tabel. Harga bahan baku dan produk

No	Bahan Kimia	BM (kg/kmol)	Harga bahan
1	<i>Isobutyl Palmitate</i>	312,543	Rp 23.500/kg
2	<i>Palmitic acid</i>	256,429	Rp 5.000/kg
3	<i>Isobutanol</i>	74,123	Rp 8.500/kg
4	<i>Amberlyst - 15</i>		Rp.1.110.000/kg

Sumber: (www.icispricing.com, 2011)

Reaksi :



- Produk

$$\text{Berat C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2 = 30.000.000 \text{ kg/thn}$$

$$\text{Harga jual Isobutil Palmitat} = \text{Rp } 23.500/\text{kg}$$

$$\text{Harga} = 30.000.000 \text{ kg} \times \text{Rp } 23.500/\text{kg}$$

$$= \text{Rp } 705.000.000.000,-$$

$$\text{Mol C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2 = \frac{\text{Kapasitas}}{\text{mol}}$$

$$= \frac{30.000.000}{312,543}$$

$$= 95.986,7922 \text{ kmol}$$

- Reaktan

Dari stoikiometri untuk memperoleh C₂₀H₄₀O₂ sebesar 95.988,942

kmol/th dibutuhkan:

$$\begin{aligned} \text{Mol C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2 &= 1/1 \times 95.988,942 \text{ kmol/th} \\ &= 95.988,942 \text{ kmol/th C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2 \rightarrow (\text{BM: } 256,429 \text{ kg/kmol}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2 &= 95.988,942 \text{ kmol/th} \times 256,429 \text{ kg/kmol} \\ &= 24.613.797,14 \text{ kg/th} \rightarrow \text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2 = \text{Rp } 5.000,-/\text{kg} \\ \text{Biaya C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2 &= 24.613.797,14 \text{ kg/th} \times \text{Rp } 5.000,-/\text{kg} \\ &= \text{Rp } 123.068.985.700,- \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol C}_4\text{H}_{10}\text{O} &= 1/1 \times 95.988,942 \text{ kmol/th} \\ &= 95.988,942 \text{ kmol/th C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2 \rightarrow (\text{BM: } 74,123 \text{ kg/kmol}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat C}_4\text{H}_{10}\text{O} &= 95.988,942 \text{ kmol/th} \times 74,123 \text{ kg/kmol} \\ &= 7.114.988,35,- \text{ kg/th} \rightarrow \text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2 = \text{Rp } 8.500,-/\text{kg} \\ \text{Biaya C}_4\text{H}_{10}\text{O} &= 7.114.988,35 \text{ kg/th} \times \text{Rp } 8.500,-/\text{kg} \\ &= \text{Rp } 60.477.400.975,- \end{aligned}$$

Menghitung jumlah katalis Amberlyst-15 yang digunakan :

$$\text{campuran} = \frac{1}{\sum w_i}$$

1. Fraksi berat Asam Palmitat (w_i) = 0.464
2. Fraksi berat Isobutanol (w_i) = 0.536
3. Densitas Asam Palmitat = 0.853 kg/l
4. Densitas Isobutanol = 0.797 kg/l

maka :

$$\text{campuran} = \frac{1}{\sum w_i}$$

$$\text{campuran} = \frac{1}{1.2157}$$

$$\text{campuran} = 0.8225 \text{ kg/l}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume reaktor} &= \frac{m_{\text{campuran}}}{\dots_{\text{campuran}}} \\ &= \frac{530.731.113 \text{ kg}}{0.8225 \text{ kg/l}} \\ &= 645.233.338 \text{ liter}\end{aligned}$$

Penggunaan katalis : 10 g/liter = 0.01 kg/liter

Waktu tinggal reaktor : 3 jam

$$\begin{aligned}\text{Massa katalis} &= 645.233.338 \frac{\text{liter}}{\text{tahun}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} \times 3 \text{ jam} \\ &= 244,4066 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Harga Amberlyst-15} &= 244,4066 \text{ kg} \times \text{Rp } 1.110.000 / \text{kg} \\ &= \text{Rp } 271.291.308,-\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Potensi Ekonomi} &= \text{Harga produk} - (\text{harga bahan baku} + \text{harga katalis}) \\ &= \text{Rp. } 705.000.000.000 - (\text{Rp } 123.068.985.700 + \text{Rp } \\ &\quad \text{Rp } 60.477.400.975 + \text{Rp } 271.291.308) \\ &= \text{Rp. } 521.182.322.017,-\end{aligned}$$

2. Esterifikasi isobutyl palmitate dari asam palmitat dan isobutanol menggunakan katalis Asam Sulfat

Tabel. Harga bahan baku dan produk

No	Bahan Kimia	BM (kg/kmol)	Harga bahan
1	<i>Isobutyl Palmitate</i>	312,543	Rp 23.500/kg
2	<i>Palmitic acid</i>	256,429	Rp 5.000/kg
3	Isobutanol	74,123	Rp 8.500/kg
4	Asam Sulfat	98,08	Rp 850/kg

Sumber: (www.icispricing.com, 2011)

Reaksi :



- Produk

$$\text{Berat C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2 = 30.000.000 \text{ kg/thn}$$

$$\text{Harga jual Isobutil Palmitat} = \text{Rp } 31.000/\text{kg}$$

$$\text{Harga} = 30.000.000 \text{ kg} \times \text{Rp } 23.500/\text{kg}$$

$$= \text{Rp } 705.000.000.000,-$$

$$\begin{aligned} \text{Mol C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2 &= \frac{\text{Kapasitas}}{\text{mol}} \\ &= \frac{30.000.000}{312,543} \\ &= 95.986,7922 \text{ kmol} \end{aligned}$$

- Reaktan

Dari stoikiometri untuk memperoleh $\text{C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2$ sebesar 95.988,942 kmol/th dibutuhkan:

$$\begin{aligned} \text{Mol C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2 &= 1/1 \times 95.988,942 \text{ kmol/th} \\ &= 95.988,942 \text{ kmol/th C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2 \rightarrow (\text{BM: } 256,429 \text{ kg/kmol}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2 &= 95.988,942 \text{ kmol/th} \times 256,429 \text{ kg/kmol} \\ &= 24.613.797,14 \text{ kg/th} \rightarrow \text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2 = \text{Rp } 5.000,-/\text{kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2 &= 24.613.797,14 \text{ kg/th} \times \text{Rp } 5.000,-/\text{kg} \\ &= \text{Rp } 123.068.985.700,- \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol C}_4\text{H}_{10}\text{O} &= 1/1 \times 95.988,942 \text{ kmol/th} \\ &= 95.988,942 \text{ kmol/th C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2 \rightarrow (\text{BM: } 74,123 \text{ kg/kmol}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat C}_4\text{H}_{10}\text{O} &= 95.988,942 \text{ kmol/th} \times 74,123 \text{ kg/kmol} \\ &= 7.114.988,35,- \text{ kg/th} \rightarrow \text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2 = \text{Rp } 8.500,-/\text{kg} \\ \text{Biaya C}_4\text{H}_{10}\text{O} &= 7.114.988,35 \text{ kg/th} \times \text{Rp } 8.500,-/\text{kg} \\ &= \text{Rp } 60.477.400.975,- \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan katalis asam sulfat} &= 1,7\% \text{ dari asam palmitat} \\ &= 0.017 \times 24.613.797,14 \\ &= 418.434,5514 \text{ kmol/th} \\ \text{Berat H}_2\text{SO}_4 &= \text{mol H}_2\text{SO}_4 \times \text{BM H}_2\text{SO}_4 \\ &= 418.434,5514 \text{ kmol/th} \times 98,08 \text{ kg/kmol} \\ &= 41.040.060 \text{ kg/th} \\ \text{Price/year} &= 41.040.060 \text{ kg/th} \times \text{Rp } 850,-/\text{kg} \\ &= \text{Rp. } 34.884.051.682,-/\text{th} \\ \text{Harga per 3 tahun} &= \text{Rp } 104.652.155.045,- \end{aligned}$$

Kebutuhan NaOH untuk netralisasi :

$$\begin{aligned}
 \text{Mol NaOH} &= 2 \times \text{mol H}_2\text{SO}_4 \\
 &= 2 \times 418.434,5514 \text{ kmol/th} \\
 &= 836.869 \text{ kmol/th} \\
 \text{Berat NaOH} &= \text{mol NaOH} \times \text{BM NaOH} \\
 &= 836.869 \text{ kmol/th} \times 40 \text{ kg/kmol} \\
 &= 33.474.764 \text{ kg/th} \\
 \text{Harga NaOH} &= 33.474.764 \text{ kg/th} \times \text{Rp } 1500 ,-/kg \\
 &= \text{Rp } 50.212.146.169,- /th \\
 \text{Harga NaOH per 3 tahun} &= \text{Rp } 150.636.438.506,-
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Potensial Ekonomi} &= \text{Harga jual produk- (harga bahan baku + harga} \\
 &\quad \text{katalis asam sulfat + harga netralisasi)} \\
 &= (\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COO}_4\text{H}_9\text{OH}) - (\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOH} + \text{C}_4\text{H}_9\text{OH} \\
 &\quad + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NaOH}) \\
 &= \text{Rp. } 705.000.000.000 - (\text{Rp } 123.068.985.700 + \text{Rp} \\
 &\quad \text{Rp } 60.477.400.975 + \text{Rp. } 104.652.155.045 + \\
 &\quad \text{Rp. } 150.636.438.506,-) \\
 &= \text{Rp. } 266.165.019.774,-
 \end{aligned}$$

Perbedaan katalis asam sulfat dan katalis *ion exchange resin Amberlyst 15* dalam proses esterifikasi *isobutyl palmitate* ditampilkan pada Tabel 2.3. berikut:

Tabel 2.1. Perbandingan katalis asam sulfat dengan katalis *ion exchange resin Amberlyst 15* pada proses esterifikasi pembuatan *isobutyl palmitate*

No.	Parameter	Jenis Proses	
		asam sulfat	<i>Ion exchange resin Amberlyst-15</i>
1.	Temperatur Operasi	107°C	100°C
2.	Konversi	93,10%	55,10%
3.	Potensi Ekonomi	Rp. 266.165.019.774,-	Rp. 521.182.322.017,-
4.	Waktu reaksi	5 menit	3 jam
5.	Perolehan katalis	Dalam negeri	Luar negeri
6.	Banyaknya katalis yang digunakan	1,7% dari bahan baku (<i>palmitic acid</i>)	-

Pada kedua katalis untuk memproduksi *isobutyl palmitate* ini mempunyai reaksi yang sama sehingga bahan baku yang diperlukan sama. Maka pertimbangan yang digunakan dalam pemilihan proses ini didasarkan pada :

1. Katalis Amberlyst-15 dapat digunakan selama 3 tahun sehingga harga katalis ini lebih ekonomis dibandingkan dengan katalis asam sulfat.
2. Pemisahan katalis dari produk lebih mudah dengan menggunakan dekantasi atau filtrasi.

C. Uraian Proses

Proses pembuatan isobutyl palmitat dari asam palmitat dan isobutanol dengan proses esterifikasi dengan katalis Amberlyst-15 dapat dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu :

1. Tahap Persiapan Bahan Baku

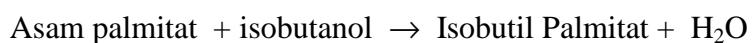
Tahap ini bertujuan untuk menyiapkan asam palmitat dan isobutanol sebelum direaksikan di dalam reaktor.

Tahap persiapan bahan baku meliputi:

- a. Isobutanol dari tangki penyimpan yang bersuhu 30°C dan tekanan 1 atm dipanaskan sampai suhu reaktor sebesar 107°C dengan menggunakan pemanas.
- b. Asam Palmitat dari *hopper* yang bersuhu 30°C dan berbentuk kristal dilelehkan dengan menggunakan *melter* sehingga berubah fase menjadi cair dan suhunya naik sampai suhu operasi reaktor sebesar 107°C.
- c. Katalis Amberlyst-15 sudah dimasukkan kedalam reaktor dalam bentuk powder.

2. Tahap reaksi esterifikasi pembentukan *isobutil palmitat*

Kedua bahan baku diumpulkan dalam reaktor dengan perbandingan mol asam palmitat dan isobutanol = 1 : 4. Reaksi berlangsung dalam fase cair dan merupakan reaksi eksotermis. Konversi yang dapat dicapai pada reaksi ini sebesar 55,1 % berdasarkan reaktan asam palmitat. Reaksi dijalankan dalam Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (R) pada suhu 107°C. Reaktor beroperasi pada tekanan 1 atm untuk menjaga agar reaktan tetap dalam keadaan cair. Panas yang dihasilkan oleh reaktor diserap dengan jaket pendingin. Reaksi yang terjadi di reaktor:



3. Tahap Pemurnian dan Pemisahan Produk

Tahap ini bertujuan untuk memisahkan produk dari hasil samping reaksi esterifikasi yaitu air dan sisa-sisa reaktan.

Tahap pemisahan dan pemurnian produk terdiri dari:

- a. Produk cair reaktor dialirkan menuju centrifuge untuk memisahkan antara produk dan katalis amberlyst-15. Katalis yang berupa cake kemudian di recycle ke reaktor.
- b. Produk centrifuge berupa filtrat yang mengandung IBP , isobutanol, asam palmitat, dan air didistilasi untuk menghilangkan isobutanol dan air dari isobutil palmitat dan asam palmitat.
- c. Produk atas distilasi I yaitu isobutanol dan air yang kemudian dipisahkan kembali di dalam distilasi II. Hasil dari distilasi ini berupa isobutanol kemudian di recycle ke reaktor dan air dibuang ke UPL.
- d. Produk bawah distilasi I yang mengandung isobutil palmitat dan asam palmitat dipisahkan menggunakan kolom distilasi III sehingga terbentuk produk atas yaitu asam palmitat yang kemudian di recycle ke reaktor. Produk bawah distilasi di alirkan ke tangki penyimpanan produk.