

BAB II

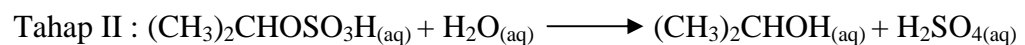
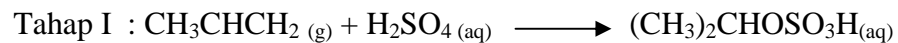
PEMILIHAN DAN URAIAN PROSES

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.

A. Macam-macam Proses Pembuatan

1. *Indirect Hydration*

Proses ini melalui dua tahapan reaksi, yaitu :

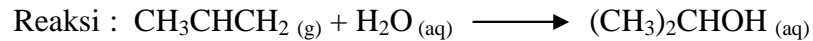


Propilen direaksikan dengan asam sulfat pada tekanan 10 -70 atm pada temperatur 20 - 30 °C, sehingga terbentuk isopropil hidrogen sulfat, lalu dihidrolisa menghasilkan isopropil alkohol.(Kirk, R.E and Othmer,D.F.,1997)

2. *Direct Hydration*

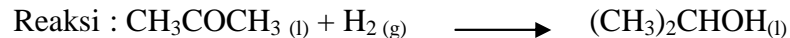
Proses *direct hydration* ini merupakan perkembangan dari proses hidrasi dalam pembuatan isopropil alkohol yang sebelumnya menggunakan asam

sulfat. Pada proses ini propilen direaksikan dengan air dan ditambahkan suatu katalis untuk membentuk isopropil alkohol. Reaksi terjadi pada temperatur 120 – 180°C dan tekanan 60 – 200 bar. Reaksi ini bersifat eksotermis yang menghasilkan panas sekitar 50,2 kJ/mol. (US Patent. No. 4.456.776)



3. Hidrogenasi Aseton

Proses ini berlangsung pada tekanan 10 - 40 atm dan temperatur 40 -150 °C. Pada proses ini *acetone* dan gas hidrogen direaksikan dengan katalis metal *oxide* membentuk isopropil alkohol. (US Patent. No. 6.939.995)



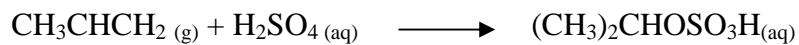
B. Pemilihan Proses

Dalam pemilihan proses mempertimbangkan beberapa faktor seperti Bahan baku yang digunakan, panas reaksi pada keadaan standar, *yield*, hasil samping, biaya bahan baku (perhitungan ekonomi kasar) dan harga pembuatan Isopropil Alkohol /kg.

1. Perhitungan ekonomi kasar berdasarkan bahan baku yang dibutuhkan.

a. *Indirect Hydration*

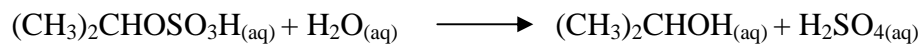
Konversi 30%, yield 96%, perbandingan mol propilen : H₂SO₄ = 1,6 : 1,
perbandingan mol (CH₃)₂CHOSO₃H : H₂O = 1: 2.



m: 255,74 159,837

rx: 76,722 76,722 76,722

sisa: 179,018 83,115 76,722



m: 76,722 153,444

rx: 73,653 73,653 73,653 73,653

sisa: 3,069 79,791 73,653 73,653

Tabel 2.1 Kebutuhan bahan baku dan produk proses *indirect hydration* per tahun.

	BM (kg/kmol)	Harga/kg (Rp)	Kebutuhan (kmol)	Kebutuhan (kg) = mol x BM
CH ₃ CHCH ₂	42	7.800	255,74	10.741,08
H ₂ SO ₄	98	750	159,837	15.664,026
(CH ₃) ₂ CHOH	60	23.158	73,653	4419,18

- Harga penjualan produk (*isopropyl alcohol*) per tahun:

$$\text{Harga} = 4419,18 \times \text{Rp. } 21.305/\text{kg} = \text{Rp. } 94.150.630$$

- Harga pembelian bahan baku per tahun:

a. Propilen = 10.741,08 x Rp. 7.800/kg = Rp. 83.780.424

b. Asam Sulfat = 15.664,026 x Rp. 750/kg = Rp. 9.398.400 ±

Total pembelian bahan baku = Rp. 93.178.824

- Keuntungan per tahun = harga jual produk – harga beli bahan baku

$$= \text{Rp. } 94.150.630 - \text{Rp. } 93.178.824$$

$$= \text{Rp. } 971.806$$

b. Direct Hydration

Konversi 80%, yield 93%, perbandingan mol propilen : H₂O = 1 : 2,5

	C_3H_6	+ H ₂ O	—————→	$CH_3CH(OH)CH_3$
m:	105,926	264,815		
rx:	79,197	79,197		79,197
<hr/>				
sisas:	26,729	185,618		79,197
	$CH_3CH(OH)CH_3$	+ C ₃ H ₆	—————→	$C_3H_7OC_3H_7$
m:	79,197	26,729		
rx:	5,544	5,544		5,544
<hr/>				
sisas:	73,653	21,185		5,544

Tabel 2.2 Kebutuhan bahan baku dan produk proses *direct hydration* per tahun.

	BM (kg/kmol)	Harga/kg (Rp)	Kebutuhan (kmol)	Kebutuhan (kg) = mol x BM
CH ₃ CHCH ₂	42	7.800	105,926	4.448,892
(CH ₃) ₂ CHOH	60	21.305	73,653	4.419,180
C ₃ H ₇ OC ₃ H ₇	102	18.526	5,544	565,488

- Harga penjualan produk utama dan produk samping per tahun:
 - a. *Isopropyl alcohol* = 4.419,18 x Rp. 21.305/kg = Rp. 94.150.630
 - b. Diisopropil alkohol = 565,488 x Rp. 18.526/kg = Rp. 10.476.231 +

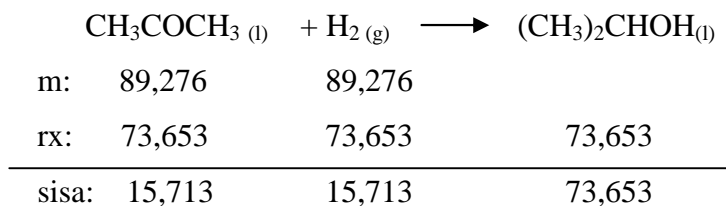
Total harga penjualan = Rp. 104.626.861
- Harga pembelian bahan baku per tahun:

Propilen = 4.448,892 x Rp. 7.800/kg = Rp. 34.701.358
- Keuntungan per tahun = harga jual produk – harga beli bahan baku

= Rp. 104.626.861 - Rp. 34.701.358 = Rp. 69.925.503

c. Hidrogenasi Aseton

Konversi 82,5%, yield 98%



Tabel 2.3 Kebutuhan bahan baku dan produk proses hidrogenasi aseton per tahun.

	BM (kg/kmol)	Harga/kg (Rp)	Kebutuhan (kmol)	Kebutuhan (kg) = mol x BM
CH ₃ COCH ₃	58	10.650	89,276	5.178,008
H ₂	2	7.960	89,276	178,552
(CH ₃) ₂ CHOH	60	21.305	73,653	4.419,18

- Harga penjualan produk (*isopropyl alcohol*) per tahun:

$$\text{Harga} = 4.419,18 \times \text{Rp. } 23.158/\text{kg} = \text{Rp. } 94.150.630$$

- Harga pembelian bahan baku per tahun:

$$\text{a. Aseton} = 5.178,008 \times \text{Rp. } 10.650/\text{kg} = \text{Rp. } 55.145.785$$

$$\text{b. Hidrogen} = 178,552 \times \text{Rp. } 7.960/\text{kg} = \text{Rp. } 1.421.274 \quad +$$

$$\text{Total pembelian bahan baku} = \text{Rp. } 56.567.059$$

- Keuntungan per tahun = harga jual produk – harga beli bahan baku

$$= \text{Rp. } 94.150.630 - \text{Rp. } 56.567.059$$

$$= \text{Rp. } 37.583.571$$

Berdasarkan hasil perhitungan ekonomi kasar di atas dapat dijelaskan bahwa pembuatan isopropil alkohol dengan proses *direct hydration* lebih

menguntungkan jika dibandingkan dengan menggunakan proses *indirect hydration* dan proses hidrogenasi aseton.

2. Pemilihan proses meninjau dari panas reaksi (H_{rx})

H menunjukkan panas reaksi yang dihasilkan selama proses berlangsungnya reaksi kimia, seperti pada reaksi pembentukan produk berupa Isopropil Alkohol. Besar atau kecil nilai H tersebut menunjukkan jumlah energi yang dibutuhkan maupun dihasilkan. H bernilai positif (+) menunjukkan bahwa reaksi tersebut membutuhkan panas untuk berlangsungnya reaksi sehingga semakin besar H maka semakin besar juga energi yang dibutuhkan. Sedangkan H bernilai negatif (-) menunjukkan bahwa reaksi tersebut menghasilkan panas selama proses berlangsungnya reaksi.

H_f pada 25 °C :

H_f CH ₃ CHCH ₂	= 19,71	kJ/mol
H_f H ₂ O	= -285,83	kJ/mol
H_f CH ₃ COCH ₃	= -249,4	kJ/mol
H_f H ₂	= 0	kJ/mol
H_f (CH ₃) ₂ CHOH	= -318,7	kJ/mol
H_f (CH ₃) ₂ CHOSO ₃ H	= 16,657	kJ/mol
H_f H ₂ SO ₄	= 0	kJ/mol
H_f C ₃ H ₇ OC ₃ H ₇	= -351,5	kJ/mol

Sumber: Yaws, 1999

a. Indirect Hydration

Reaksi pada suhu 30°C (303 K):

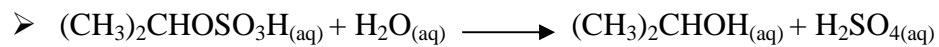


$$H_{\text{rx1}} = (H_{\text{produk}} - H_{\text{reaktan}})_{298}$$

$$H_{298} = (H_{298}(\text{CH}_3)_2\text{CHOSO}_3\text{H} - (H_{298} \text{CH}_3\text{CHCH}_2 + H_{298} \text{H}_2\text{SO}_4))$$

$$H_{298} = [16,657] - [(19,71) + (0)]$$

$$H_{298} = - 3 \text{ kJ/mol}$$



$$H_{\text{rx2}} = (H_{\text{produk}} - H_{\text{reaktan}})_{298}$$

$$H_{298} = (H_{298}(\text{CH}_3)_2\text{CHOH} + H_{298} \text{H}_2\text{SO}_4) -$$

$$(H_{298}(\text{CH}_3)_2\text{CHOSO}_3\text{H} + H_{298} \text{H}_2\text{O})$$

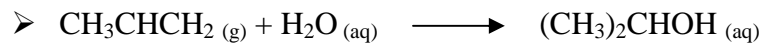
$$H_{298} = [-318,7 + 0] - [(16,657) + (-285.83)]$$

$$H_{298} = -50 \text{ kJ/mol}$$

$$\begin{aligned} H_{\text{rx}} &= H_{\text{rx1}} + H_{\text{rx2}} \\ &= -3 \text{ kJ/mol} + (-50 \text{ kJ/mol}) \\ &= -53 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

b. Direct Hydration

Reaksi pada suhu 135°C (408 K):



$$H_{\text{rx1}} = (H_{\text{produk}} - H_{\text{reaktan}})_{298}$$

$$H_{298} = (H_{298}(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}) - (H_{298} \text{CH}_3\text{CHCH}_2 + H_{298} \text{H}_2\text{O})$$

$$H_{298} = [-318,7] - [(19,71) + (-285,83)]$$

$$H_{298} = -53 \text{ kJ/mol}$$



$$H_{\text{rx}2} = (H_{\text{produk}} - H_{\text{reaktan}})_{298}$$

$$H_{298} = (H_{298}\text{C}_3\text{H}_7\text{OC}_3\text{H}_7) - (H_{298}(\text{CH}_3)_2\text{CHOH} + H_{298}\text{CH}_3\text{CHCH}_2)$$

$$H_{298} = [-351,5] - [-318,7 + 19,71]$$

$$H_{298} = -52,51 \text{ kJ/mol}$$

$$\begin{aligned} H_{\text{rx}} &= H_{\text{rx}1} + H_{\text{rx}2} \\ &= -53 \text{ kJ/mol} + (-52,51 \text{ kJ/mol}) \\ &= -105,51 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

c. Hidrogenasi Aseton

Reaksi pada suhu 120°C (393 K):



$$H_{\text{rx}} = (H_{\text{produk}} - H_{\text{reaktan}})_{298}$$

$$H_{298} = (H_{298}(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}) - (H_{298}\text{CH}_3\text{COCH}_3 + H_{298}\text{H}_2)$$

$$H_{298} = [-318,7] - [(-249,4) + (0)]$$

$$H_{298} = -69 \text{ kJ/mol}$$

3. Pemilihan proses meninjau dari energi Gibbs (G°).

G° menunjukkan spontan atau tidak spontannya suatu reaksi kimia.

G° bernilai positif (+) menunjukkan bahwa reaksi tersebut tidak dapat

berlangsung secara spontan, sehingga dibutuhkan energi tambahan dari luar. Sedangkan G° bernilai negatif (-) menunjukkan bahwa reaksi tersebut dapat berlangsung secara spontan dan hanya sedikit membutuhkan energi. Oleh karena itu, semakin kecil atau negatif G° maka reaksi tersebut akan semakin baik karena untuk berlangsung spontan energi yang dibutuhkan semakin kecil.

G° pada 25 °C :

$G^\circ \text{CH}_3\text{CHCH}_2$	= 62,205	kJ/mol
$G^\circ \text{H}_2\text{O}$	= -237,129	kJ/mol
$G^\circ \text{CH}_3\text{COCH}_3$	= -153,2	kJ/mol
$G^\circ \text{H}_2$	= 0	kJ/mol
$G^\circ (\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$	= - 173,5	kJ/mol
$G^\circ (\text{CH}_3)_2\text{CHOSO}_3\text{H}$	= -738,42	kJ/mol
$G^\circ \text{H}_2\text{SO}_4$	= -744,530	kJ/mol
$G^\circ \text{C}_3\text{H}_7\text{OC}_3\text{H}_7$	= -122	kJ/mol

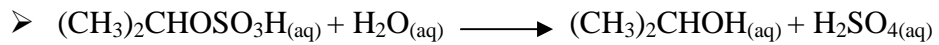
Sumber: Yaws, 1999

a. Indirect Hydration



$$G^\circ (25^\circ\text{C}) = G^\circ \text{produk} - G^\circ \text{reaktan} :$$

$$\begin{aligned} G^\circ_{\text{rxn}} &= (G^\circ (\text{CH}_3)_2\text{CHOSO}_3\text{H}) - (G^\circ \text{CH}_3\text{CHCH}_2 + G^\circ \text{H}_2\text{SO}_4) \\ &= (-738,42) - (62,205 + (-744,530)) \\ &= -56,095 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$



$$G^\circ (25^\circ\text{C}) = G^\circ \text{ produk} - G^\circ \text{ reaktan} :$$

$$G^\circ_{\text{rx2}} = (G^\circ (\text{CH}_3)_2\text{CHOH} + G^\circ \text{H}_2\text{SO}_4) - (G^\circ (\text{CH}_3)_2\text{CHOSO}_3\text{H} + G^\circ \text{H}_2\text{O})$$

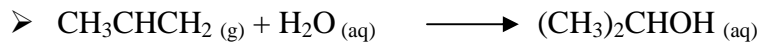
$$= (-173,5 + (-744,530)) - (-738,42 + (-237,129))$$

$$= 57,519 \text{ kJ/mol}$$

$$G = G_{\text{rx1}} + G_{\text{rx2}}$$

$$= -56,095 \text{ kJ/mol} + 57,519 \text{ kJ/mol} = 1,424 \text{ kJ/mol}$$

b. *Direct Hydration*



$$G^\circ (25^\circ\text{C}) = G^\circ \text{ produk} - G^\circ \text{ reaktan} :$$

$$G^\circ_{\text{rx1}} = (G^\circ (\text{CH}_3)_2\text{CHOH}) - (G^\circ \text{CH}_3\text{CHCH}_2 + G^\circ \text{H}_2\text{O})$$

$$= (-173,5) - (62,205 + (-237,129)) = 1,424 \text{ kJ/mol}$$



$$G^\circ (25^\circ\text{C}) = G^\circ \text{ produk} - G^\circ \text{ reaktan} :$$

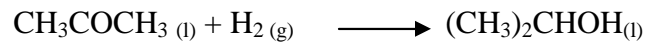
$$G^\circ_{\text{rx2}} = (G^\circ \text{C}_3\text{H}_7\text{OC}_3\text{H}_7) - (G^\circ (\text{CH}_3)_2\text{CHOH} + G^\circ \text{CH}_3\text{CHCH}_2)$$

$$= (-122) - (-173,5 + 62,205) = -10,705 \text{ kJ/mol}$$

$$G = G_{\text{rx1}} + G_{\text{rx2}}$$

$$= 1,424 \text{ kJ/mol} + (-10,705) \text{ kJ/mol} = -9,281 \text{ kJ/mol}$$

c. Hidrogenasi Aseton



$$G^\circ (25^\circ\text{C}) = G^\circ \text{ produk} - G^\circ \text{ reaktan} :$$

$$\begin{aligned} G^\circ_{rx} &= (G^\circ (\text{CH}_3)_2\text{CHOH}) - (G^\circ \text{CH}_3\text{COCH}_3 + G^\circ \text{H}_2) \\ &= (-173,5) - (-153,2 + 0) = -20,3 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Tabel 2.4. Perbandingan proses produksi Isopropil Alkohol

No	Keterangan	<i>Indirect Hydration</i>	<i>Direct Hydration</i>	Hidrogenasi Aseton
1	Bahan baku	Propilen, Asam Sulfat dan Air	Propilen dan Air	Aseton dan Hidrogen
2	Suhu	30 °C	135 °C	120 °C
3	Tekanan	50 atm	60 atm	27 atm
4	Keuntungan per tahun	Rp. 971.806	Rp. 69.925.503	Rp. 37.583.571
5	Katalis	Asam Sulfat	<i>Sulfonated styrenedivinylnbenzene</i>	Metal katalis
6	Hasil Samping	-	Diisopropil eter	-
7	Konversi	30 %	80 %	82,5 %
8	Yield	96 %	93 %	98,4 %
9	H _{rx}	-53 kJ/mol	-105,51 kJ/mol	-69 kJ/mol
10	G	1,424 kJ/mol	-9,281 kJ/mol	-20,3 kJ/mol
11	Kekurangan	Proses kompleks, katalis korosif	P,T tinggi	Bahan baku mahal dan sulit dicari

Dari ketiga proses tersebut di atas, dipilih proses kedua yaitu *Direct Hydration* dengan pertimbangan sebagai berikut:

1. Bahan baku berupa propilen yang mudah didapat dan tersedia dalam jumlah yang memadai di Indonesia.

2. Keuntungan paling besar (Perhitungan Ekonomi Kasar), karena harga bahan baku yang murah.
3. Proses yang digunakan ramah terhadap lingkungan hidup.

C. Uraian Proses

Proses pembuatan isopropil alkohol dengan menggunakan Proses *Direct Hydration*, dapat dibagi menjadi beberapa tahap yaitu :

1. Tahap Preparasi

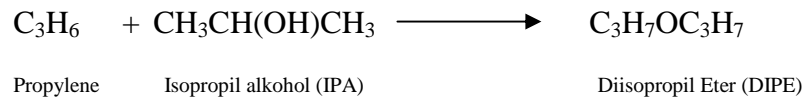
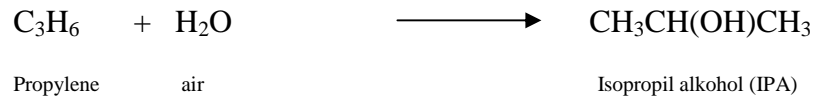
Pada tahap preparasi mencakup seluruh tahapan preparasi bahan baku. Bahan baku berupa *propylene* berasal dari PT. Chandra Asri, Anyer-Merak. Air disiapkan dari unit utilitas. Bahan baku propilen (kemurnian 99% mol) dicampur dengan aliran recycle propilen di MP-101. Bahan baku air dari utilitas dicampur dengan aliran recycle air dari RB-301 di MP-102. Kemudian masing-masing bahan baku yaitu propilen dan air dipanaskan pada HE-101 dan HE-102 sampai temperatur 135°C sebelum memasuki reaktor (R-201).

2. Tahap Hidrasi Propilen

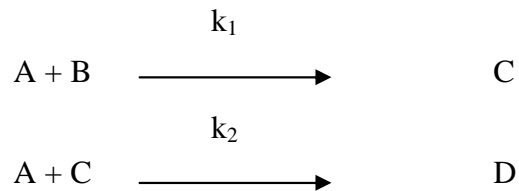
Reaksi hidrasi propilen berlangsung pada isothermal multi tube reaktor dengan katalis *sulfonated styrenedivinybenzene* ion exchange resin. Pada reaktor ini propilen bereaksi dengan air menghasilkan isopropil alkohol (IPA). Sebagian IPA bereaksi dengan propilen menghasilkan *by product* diisopropil

eter (DIPE) Proses ini terjadi pada kondisi operasi 135°C dan tekanan 60 atm.

Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Dimana persamaan di atas bila disimbolkan menjadi :



Reaksi hidrasi propilen merupakan reaksi berorde dua dengan persamaan laju reaksi terhadap propilen untuk reaksi di atas adalah:

$$-r_{A1} = k_1 \cdot C_A \cdot C_B$$

$$-r_{A2} = k_2 \cdot C_A \cdot C_C$$

dimana : $-r_{A1}$ = laju reaksi 1,

$-r_{A2}$ = laju reaksi 2

k_1 = konstanta laju reaksi 1,

k_2 = konstanta laju reaksi 2,

C_A, C_B, C_C = konsentrasi propilen, air dan IPA sisa,

dengan nilai konstanta kecepatan reaksi, yaitu :

$$k_1 = 1,076 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kmol.jam}$$

$$k_2 = 1,404 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kmol.jam}$$

Sumber : *Chemical Engineering Science*, Vol.39, No.3, pp.433-446

Panas reaksi yang timbul akibat reaksi yang terjadi di dalam reaktor (R-201) dikontrol dengan *Cooling Water*. Produk dan bahan baku yang tidak bereaksi keluar melalui bagian bawah reaktor. Kemudian aliran tersebut diturunkan tekanannya dengan memasang expander valve hingga tekanan turun mencapai 1 atm. Setelah itu aliran didinginkan sampai 50°C dengan mengalirkannya melalui cooler (CO-01). Aliran yang telah didinginkan dialirkan ke Separator Drum (SD-301) untuk memisahkan aliran gas (propilen dan propana) dengan aliran liquid (DIPE, IPA, dan air).

3. Tahap Pemurnian Produk

Distilasi IPA dan air hanya dapat mencapai kemurnian 91 %, yaitu pada titik *azeotrope*-nya. Aliran dari SD-301 kemudian dipanaskan pada heater (HE-301) hingga temperatur mencapai 92,928 °C sebelum memasuki menara distilasi (MD-301). Produk bawah MD-301 adalah air yang kemudian direcycle kembali sebagai bahan baku. Produk atas MD-301 adalah campuran DIPE, air dan IPA yang akan dipisahkan pada menara destilasi kedua (MD-302). Produk bawah MD-302 adalah IPA dengan kemurnian 99,9 % vol yang

disimpan pada tangki (T-301). Produk atas MD-302 adalah DIPE yang kemudian ditampung di tangki by product (T-302).

4. Tahap Recycle Bahan Baku

Aliran gas dari SD-301 sebagian dipisahkan sebagai aliran *purging*. Tujuan purging ini adalah untuk mencegah akumulasi propana dalam aliran recycle gas. Purging yang dilakukan dijaga tidak terlalu besar dengan syarat kemurnian propilen masuk ke reaktor minimal 92% mol. Aliran air dari RB-301 dicampur dengan tambahan air dari utilitas sebelum dipanaskan pada HE-102.