

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang menunjukkan peningkatan pada sektor industri telah menuntut bangsa Indonesia berbelok arah dari negara agraris ke negara industri. Diantaranya adalah pembangunan dibidang industri yang salah satunya industri kimia. Pembangunan Indonesia bertumpu pada sektor migas yang menjadi andalan perolehan devisa. Mengingat bahwa migas merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui serta memerlukan waktu lama untuk memulihkan kembali sehingga penyediaannya semakin menipis maka pemerintah mengeluarkan kebijaksanaan untuk melepas ketergantungan dari sector migas.

Kebijakan itu memberi dampak positif mendorong berdirinya berbagai macam pabrik kimia yang berorientasi untuk mengolah bahan baku menjadi bahan perantara maupun bahan jadi. Plastik merupakan salah satu produk yang dihasilkan oleh industri kimia karena memiliki peran yang penting bagi masyarakat maka pemakaiannya cenderung meningkat. N-butil oleat merupakan bahan yang mempunyai peranan penting dalam pabrik plastic yaitu sebagai plasticizers. Plasticizers adalah senyawa adiktif yang ditambahkan kepada polimer untuk menambah kemampuan kerja dan fleksibilitas plastic. Penambahan plasticizers dapat menurunkan viskositas leburan dan modulus elastisitas plastic. Manfaat lain dari n-butil oleat digunakan pada pabrik pembuatan karet sintetis. Pabrik cat, pabrik polyester dan pabrik lainnya. Oleh karena itu disadari bahwa n-butil oleat semakin dibutuhkan saat ini seiring bertambahnya pabrik-pabrik baru khususnya pabrik plastik.

1.2 Penentuan Kapasitas Pabrik

Pabrik n-butyl oleat rencananya akan didirikan pada tahun 2022. Penentuan kapasitas pabrik butyl oleat mengacu kepada pabrik yang telah berdiri di dunia serta kebutuhan impor Indonesia

1.2.1 Analisa Pasar

Analisa pasar untuk asam terephthalat sangat diperlukan untuk memenuhi permintaan atau kebutuhan pasar. Hal ini disebabkan karena asam terephthalat merupakan bahan petrokimia yang sangat penting sebagai bahan baku produksi polyester. Hal-hal yang melatarbelakangi pemilihan kapasitas produksi yaitu sebagai berikut:

1. Ketersediaan Bahan Baku

Kebutuhan bahan baku asam oleat dapat dipenuhi dan diperoleh produsen di Indonesia yaitu dari Jinan ZZ International Trade Co.Ltd. Sehingga dalam hal ini ketersediaan bahan baku akan n-butanol dieproleh dari PT. Petro Oxo Nusantara dapat terpenuhi. Demikian pula pemenuhan katalis juga diambil dari dalam negeri.

Tabel 1.1 Data Impor n-butyl oleat di Indonesia tahun 2012 -2016

Tahun	Jumlah (Kg)
2012	1.352.193
2013	1.870.055
2014	797.792
2015	1.055.642
2016	980.217

(Sumber : Badan Pusat Statistik, 2017)

Tabel 1.2 Data Ekspor n-butyl oleat di Indonesia tahun 2012 -2016

Tahun	Jumlah (Kg)
2012	3.066.593
2013	410
2014	766.796
2015	3.646.010
2016	7.111.373

(Sumber : Badan Pusat Statistik, 2017)

Tabel 1.3 Data kapasitas n-butyl oleat di beberapa negara

No	Nama Pabrik	Lokasi	Kapasitas (ton/tahun)
1.	Victorian Chemicals	Australia	9.000
2.	Meghachem	Singapura	7.000
3.	Lambent Technologies Corp.	USA	10.000
4.	Mohini Organic Pvt. Ltd	India	9.000
5.	Anar Soap & Chemical Co.	Cina	10.000
6.	Shanghai Terppon Chemical Co., Ltd	Cina	6.000
7.	Simagchem Corp.	Cina	10.000
8.	Zengzhou Yi Bang Industry Co., Ltd	Cina	7.200

www.zauba.com

Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui bahwa kebutuhan n-butyl oleat dalam negeri dari tahun ke tahun cenderung terus meningkat. Tetapi pada tahun 2015 mengalami penurunan, yang kemudian meningkat kembali pada tahun 2016. Jumlah ekspor yang sedemikian besar juga dapat dijadikan pangsa pasar yang sangat bagus untuk kedepannya.

1.2.2 Penentuan Kapasitas Produksi Perancangan

Dengan melihat data ekspor dan impor n-butyl oleat dapat ditentukan kapasitas pabrik. Dengan persamaan 1-1 :

Tabel 1.4 Tabel pertumbuhan jumlah ekspor dan impor n-butyl oleat

Tahun	Impor		Ekspor	
	Jumlah (Kg)	Pertumbuhan (%)	Jumlah (Kg)	Pertumbuhan (%)
2012	1.352.193	-	3.066.593	-
2013	1.870.055	27,6923	410	-747.849,5122
2014	797.792	-134,4038	766.796	99,9465
2015	1.055.642	24,4259	3.646.010	78,9689
2016	980.217	-7,6947	7.111.373	48,7299

Dengan tabel 1.4 diperoleh kenaikan impor per tahun adalah -22,50%, maka diperkirakan impor n-butyl oleat pada tahun 2021 dapat dihitung dengan persamaan (1-1).

$$m = P (1+i)^n \dots\dots\dots (1-1)$$

dimana :

P = data besarnya import tahun 2016 (kg)

M = jumlah produk pada tahun 2021 (kg/tahun)

i = rata-rata kenaikan import tiap tahun, (%)

n = selisih tahun (-)

sehingga diperkirakan konsumsi pada tahun 2021 sebesar :

$$\begin{aligned} m_5 &= P (1+i)^n \\ &= 980.217 (1-0.225)^5 \end{aligned}$$

$$= 274.050,5909 \text{ kg/tahun}$$

Kebutuhan ekspor n-butyl oleat pada tahun 2021 dapat dihitung dengan persamaan :

$$m_4 = P (1+i)^n$$

dimana :

P = data besarnya ekspor tahun 2021

i = rata-rata kenaikan eksport tiap tahun (diasumsikan 25%)

n = selisish tahun

hingga diperkirakan ekspor pada tahun 2021 sebesar :

$$\begin{aligned} m_4 &= P (1+i)^n \\ &= 7.111.373 (1+0,25)^5 \\ &= 21.702,1881 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

Dari data diatas dapat dihitung kapasitas pabrik n-butyl oleat pada tahun 2021 :

$$\begin{aligned} m_1+m_2+m_3 &= m_4+m_5 \\ m_3 &= (m_4+m_5) - (m_1+m_2) \\ &= (21.702.188,11 + 274.050,5909) - (0+0) \\ &= 21.976.238,7 \text{ kg/tahun} \\ &= 21.976,2387 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

Dari perhitungan peluang kapasitas produksi maka ditetapkan kapasitas produksi pabrik baru sebesar 21.976,2387 ton/tahun. Tetapi mengingat perkembangan industri n-butyl oleat yang cukup bagus maka diambil kebijaksanaan kapasitas sebesar 22.000 Ton/Tahun.

1.3 Pemilihan Lokasi Pabrik

Pabrik direncanakan didirikan di daerah Kendal, Jawa Tengah Pemilihan ini berdasarkan pertimbangan, antara lain :

1. Letak Bahan Baku

Kelangsungan suatu pabrik sangat ditentukan oleh ketersediaan bahan baku. Bahan baku pembuatan n-butyl oleat terdiri dari n-butanol n-butanol didapat dari PT. Petro Oxo Nusantara dan asam oleat didapat dari Jinan ZZ International Trade Co.Ltd.

2. Pemasaran

Pemasaran produk adalah untuk mencukupi kebutuhan dalam negeri dan sisanya diekspor keluar negeri.

3. Tenaga Kerja

Daerah industri Kendal merupakan daerah industri dengan jumlah penduduk yang cukup tinggi selain itu dekat dengan daerah Semarang dan Jawa Timur sehingga kebutuhan tenaga kerja baik tenaga kerja, baik tenaga kerja kasar maupun ahli dapat dengan mudah terpenuhi.

4. Utilitas

Utilitas yang dibutuhkan adalah tenaga listrik, air dan udara. Kebutuhan tenaga listrik didapat dari PLN setempat dan generator pembangkit tenaga listrik yang dibangun sendiri. Bahan bakar dapat diperoleh dari PT Kaltim Prima Coal (KPC) sebagai pemasok bahan bakar batubara.

5. Sarana Transportasi

Transportasi sangat dibutuhkan sebagai penunjang utama untuk penyediaan bahan baku ataupun pemasaran produk. Fasilitas transportasi yang ada di 6ndust meliputi darat (jalan raya), udara (Bandara) dan laut (dekat dengan pelabuhan). Dengan adanya jalur perhubungan tersebut maka hubungan antara daerah tidak akan mengalami hambatan.

6. Iklim

Iklim yang terlalu panas akan mengakibatkan diperlukannya peralatan pendingin yang lebih banyak sedangkan iklim yang terlalu dingin atau lembab akan berakibat bertambahnya biaya konstruksi pabrik karena diperlukan khusus pada alat-alat proses. Di daerah 6ndust merupakan daerah tropis basah

sehingga iklim yang kering dengan curah hujan yang lebih sedikit, sehingga pabrik ini layak untuk didirikan didaerah ini.

7. Komunikasi

Komunikasi merupakan factor yang penting untuk kemajuan suatu industry. Di daerah Jawa Tengah khususnya di kawasan industri Kendal.

8. Pengolahan Limbah

Limbah pabrik sebelumnya diolah terlebih dahulu agar sesuai dengan standar baku mutu lingkungan. Setelah nilai BOD, COD, TSS limbah memenuhi syarat baku mutu lingkungan maka limbah pabrik dapat dibuang ke aliran sungai Bengawan Solo.

1.4 Tinjauan Pustaka

1.4.1 Pemilihan Proses

N-butyl oleat merupakan ester yang tidak larut dalam air sehingga berwarna dan sedikit berbau. Reaksi esterifikasi antara asam dan alkohol dan asam dibedakan menjadi dua macam :

1. Esterifikasi fase cair

a. Esterifikasi fase cair dengan katalis H_2SO_4

Katalis H_2SO_4 lebih disukai pemakainnya dalam industri meskipun adanya kemungkinan reaksi polimerisasi pada kondisi yang tidak sesuai. Katalisator H_2SO_4 merupakan salah satu katalisator yang banyak digunakan karena pertimbangan sebagai berikut : biaya yang relative murah, memiliki kereaktifan yang tinggi dan mudah didapat kembali setelah reaksi. Kekurangan dari katalis ini katalis H_2SO_4 memiliki sifat korosif yang tinggi sehingga dibutuhkan alat-alat yang relative mahal.

b. Esterifikasi fase cair dengan katalis amberlyst 15

Katalis Amberlyst 15 juga lebih disukai pemakainnya dalam industri. Katalisator Amberlyst 15 merupakan salah satu katalisator yang banyak digunakan karena pertimbangan sebagai berikut :

Kelebihan :

- Penggunaan katalis padatan dapat bertahan lebih lama.
- Kemurnian yang didapat hingga 99%

Kekurangan :

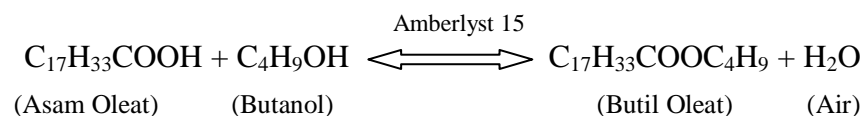
- katalis Amberlyst 15 biaya yang relative mahal.

2. Esterifikasi fase uap

Reaksi esterifikasi fase uap merupakan salah satu alternative yang menjadi perhatian karena pada fase ini umumnya lebih besar dibandingkan esterifikasi fase cair. Hal ini kemungkinan terjadi karena tumbukan antara zat pereaksi pada fase uap jauh lebih besar dibandingkan pada fase cair. Mengingat reaksi dijalankan pada fase uap maka perlu diperlukan perancangan reaktor yang rumit dan membutuhkan teknologi yang tinggi dalam penangannya. Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan diatas maka penerapannya dalam industry tidak dapat dilaksanakan. Dalam perancangan pabrik n-butyl oleat dari asam oleat dan n-butanol dipilih reaksi esterifikasi fase cair dengan katalisator Amberlyst 15 dan reaktor yang digunakan reaktor *fixbed*.

1.4.2 Dasar Reaksi

Proses pembuatan butyl oleat dari asam oleat dan n-butanol berdasarkan reaksi esterifikasi :



Pembentukan butil oleat dengan esterifikasi asam oleat dan n-butanol dilangsungkan secara kontinyu didalam reaktor *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)*. Dalam perancangan pabrik n-butyl oleat dari asam oleat dan n-butanol reaktor yang digunakan berjenis *fixedbed* dengan katalis resin sulfonat Amberlyst 15. Pemilihan reaktor ini didasarkan pada beberapa alasan, diantaranya:

1. Waktu tinggal yang diperlukan lebih cepat dibandingkan dengan CSTR.
2. Pada reaktor CSTR digunakan katalis asam sulfat dan asam klorida yang memiliki sifat korosif yang tinggi sehingga diperlukan peralatan dengan spesifikasi yang lebih tahan terhadap sifat korosif dari kedua katalis tersebut.

Reaksi esterifikasi merupakan reaksi bolak-balik (*reversible*). Untuk memperoleh konversi yang tinggi, maka reaksi harus digeser kearah pembentukan produk (ester), yaitu dengan cara membuat perbandingan mol asam oleat dengan n-butanol sebesar 1:5. Reaksi berlangsung pada suhu 120°C dan tekanan 2,026 bar dengan konversi mencapai 90% n-butyl oleat. Dikarenakan suhu operasi reaktor lebih yaitu 120°C lebih tinggi dibandingkan dengan titik didih n-butanol yaitu 117,7 °C, maka sebelum umpan masuk reaktor dilakukan pencampuran terlebih dahulu dengan asam oleat di tangki pencampur, sehingga n-butanol mengalami kenaikan titik didih menjadi 125,3 °C. Berdasarkan perhitungan *Boiling Point Rises* yaitu :

Clansius – Clapeyron relation and Raoult's law

Rumus : $\Delta T_b = K_b \cdot m$

Dimana :

ΔT_b = Kenaikan titik didih, definisi dari $(T_{bcampuran} - T_{bmurni})$

K_b = Konstanta Ebulioscopic dapat dihitung $K_b = \frac{RT_b^2}{M \cdot \Delta H_v}$ dimana R = Konstanta gas, T_b = titik didih larutan murni (K), M = massa molar dari H_v = Entalpi penguapan per mol.

m = Molalitas larutan

Diperoleh K_b untuk n-butanol sebesar 2,17 (Ebulioscopic Constants for Calculation of Boiling Point Elevation) sehingga apabila 1 gram n-butanol ditambahkan gram

asam oleat maka titik didihnya menjadi 125,295°C. Dengan perhitungan sebagai berikut.

Molalitas 1 gram asam oleat mol :

$$m = \text{mol} \times \frac{1000}{1}$$

$$= 0,0035 \times 1000$$

$$= 3,5 \text{ molal}$$

Perhitungan berdasarkan rumus

$$\Delta T_b = K_b \cdot m$$

$$= 2,17 \cdot 3,5$$

$$\Delta T_b = 7,595 \text{ K}$$

$$\Delta T_b = T_{\text{bcampuran}} - T_{\text{bmurni}}$$

$$7,595 = T - 390,7$$

$$T = 7,595 + 390,7$$

$$T = 398,295 \text{ K}$$

$$T = 125,295^{\circ}\text{C}$$

1.4.3 Mekanisme Reaksi

Mekanisme reaksi yang terjadi pada proses esterifikasi terhadap asam oleat dan n-butanol adalah esterifikasi katalis yaitu dengan menggunakan katalis asam dalam bentuk padatan untuk menghasilkan ion H^+ pada fase cair.

Pada reaksi esterifikasi terjadi pemutusan ikatan karbonil oksigen dari asam karboksilat, dalam reaksi ini asam oleat. Proses pemutusan ikatan tersebut dapat diketahui dari struktur elektron reaktan dan produk. Karena oksigen lebih elektronegatif dari karbon, maka karbon karbonil lebih positif daripada oksigen karbonil sehingga dapat ditulis sebagai berikut:

Mekanisme reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:

1. Katalis asam, gugus karbonil pada asam diprotonasi akan mengikat muatan positif pada atom karbon karbonil dan menjadikannya sasaran terbaik bagi serangan nukleofil.
2. Audisi nukleofil yaitu alkohol pada asam yang telah terprotonasi, sehingga ikatan C-O yang baru terbentuk.
3. Tahap kesetimbangan, oksigen-oksigen melepaskan atau mendapatkan proton.
4. Salah satu gugus hidroksil diprotonasi (kedua gugus hidroksil identik).
5. Pemutusan ikatan C-O dan lepasnya air (kebalikan tahap 2).
6. Ester yang berproton melepaskan protonnya (reaksi tahap 1).

1.4.4 Kondisi Operasi

Kondisi operasi pada perancangan pabrik pabrik n-butil oleat ini adalah sebagai berikut :

Temperatur reaksi	: 120°C
Tekanan	: 2,026 atm
Perbandingan mol asam oleat dengan n-butanol	: 1 : 5
Katalis	: Amberlyst 15

(US patent 5,536,856)

1.4.5 Tinjauan Kinetika

Menentukan waktu tinggal di reaktor :

Diketahui dari jurnal *Kinetics Reaction Of synthesis butyl oleate* (School of Petroleum and Chemical Technology, College of Chemistry, Chemical Engineering and Environmental Engineering, Liaoning Shihua University, Fushun 113001, China) bahwa reaksi pembentukan N-butil Oleat merupakan reaksi orde dua terhadap asam oleat $C_{17}H_{33}COOH$ dan n-butanol :

$$-r_a = k.CA.CB$$

Keterangan :

-ra : laju reaksi, (kmol/m³.jam)

k : konstanta laju reaksi; 1,32 l/mol menit = 79,200 m³/kmol.jam

CA : konsentrasi C₁₇H₃₃COOH sisa, (kmol/m³)

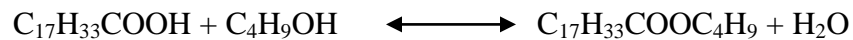
CB : konsentrasi C₄H₉OH sisa, (kmol/m³)

Waktu tinggal (t) :

9,0999	Konsentrasi awal (mula-mula)				
0,9100	Konsentrasi akhir (sisa reaksi)			'-kt	
CA ₀	=	CA	-	e	
				'-kt	
CA ₀	+	CA	=	e	
				'-79,200t	
9,0999	+	0,9100	=	e	
		10,0099	=	79,200	t ln e
	ln	10,0099	=	79,200	t
		t	=	ln	10,0999
					79,200
		t	=	0,0292	jam

Levenspiel

Maka didapat waktu tinggal direaktor sebesar 1,7519 menit.



Mula-mula	9,0999	45,4996	-	-
Bereaksi	8,1899	8,1899	8,1899	8,1899
<hr/>				
Sisa	0,9100	37,3097	8,1899	8,1899

Dari reaksi diatas diketahui diketahui:

$$CAo = 9,0999 \text{ kmol}$$

$$CA = 0,9100 \text{ kmol}$$

$$\frac{1}{CAo} \frac{XA}{(1 - XA)} = 2 kt$$

Reaksi pembuatan asam terephthalat dengan oksidasi merupakan reaksi orde 2, maka persamaan kecepatan reaksi :

$$-rA = k CA CB$$

Keterangan :

$-rA$: laju reaksi, ($\text{kmol}/\text{m}^3 \cdot \text{jam}$)

k : konstanta laju reaksi; $0,1320 \text{ l/mol menit} = 7,2900 \text{ m}^3/\text{kmol} \cdot \text{jam}$

CA : konsentrasi $C_{17}H_{33}COOH$ sisa, (kmol/m^3)

CB : konsentrasi C_4H_9OH sisa, (kmol/m^3)

(*Levenspiel- chemical reaction hal 15*)

$$-rA = 7,2900 \times 0,9100 \times 37,3097$$

$$-rA = 247,51 \text{ kmol}/\text{m}^3 \cdot \text{jam}$$

Dari perhitungan diatas didapat laju reaksi sebesar $247,51 \text{ kmol}/\text{m}^3 \cdot \text{jam}$

1.4.6 Tinjauan Termodinamika

Tinjauan secara termodinamika ditujukan untuk mengetahui sifat reaksi (endotermis/eksotermis) dan arah reaksi (*reversible/irreversible*). Penentuan panas reaksi berjalan secara eksotermis atau endotermis dapat diketahui dengan perhitungan panas pembentukan standar (ΔH_f°) pada $P = 2,026$ dan $T = 298 \text{ K}$. Pada proses pembentukan butil oleat terjadi reaksi sebagai berikut :



Harga ΔH_f° masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat pada tabel 1.5.

Tabel 1.5 Harga ΔH_f° masing-masing komponen

Komponen	Harga ΔH_f° (kJ/kmol)	ΔG_f° , kJ/kmol
$C_{17}H_{33}COOH$	-716190	-216,89
C_4H_9OH	-346410	-207,9
$C_{17}H_{33}COOC_4H_9$	-765770	-149,67
H_2O	-285,830	-228,589

(Yaws, 1999)



$$\begin{aligned} \Delta H_f^\circ_{298K} &= \Delta H_f^\circ_{\text{reaktan}} - \Delta H_f^\circ_{\text{produk}} \\ &= (\Delta H_f^\circ_{\text{asam oleat}} + \Delta H_f^\circ_{\text{n-butanol}}) - (\Delta H_f^\circ_{\text{n-butil oleat}} + \Delta H_f^\circ_{H_2O}) \\ &= -1062600 - (-766055,830) \\ &= -296544,17 \text{ kJ/kmol} \\ &= -296,54 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

a. Panas reaksi standar (ΔH_r°)

$$\begin{aligned} \Delta H_r^\circ_{298K} &= \Delta H_f^\circ_{\text{produk}} - \Delta H_f^\circ_{\text{reaktan}} \\ &= (\Delta H_f^\circ_{\text{n-butil oleat}} + \Delta H_f^\circ_{H_2O}) - (\Delta H_f^\circ_{\text{asam oleat}} + \Delta H_f^\circ_{\text{n-butanol}}) \\ &= -766055,830 - (-1062600) \\ &= 296544,17 \text{ kJ/kmol} \\ &= 296,54 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

b. Konstanta kesetimbangan (K) pada keadaan standar

$$\Delta G_f^\circ = -RT \ln K$$

Dimana :

ΔG_f° = Energi Gibbs pada keadaan standar (T=298 K, P= 1atm),

J/mol

ΔH_r° = Panas reaksi J/mol

K = Konstanta keseimbangan

T = Suhu standar = 298 K

R = Tetapan gas ideal = 8,314 J/mol.K

Sehingga ΔG_f° dari reaksi tersebut adalah :

$$\Delta G_f^\circ = \Delta G_f^\circ \text{ produk} - \Delta G_f^\circ \text{ reaktan}$$

$$\begin{aligned} \Delta G_f^\circ &= (\Delta G_{C_{17}H_{33}COOC_4H_9} + \Delta G_{H_2O}) - (\Delta G_{C_{17}H_{33}COOH} + \Delta G_{C_4H_9OH}) \\ &= (-149,67 + (-228,589)) - (-216,89 + (-207,9)) \\ &= -378,259 - (-424,79) \\ &= 46,531 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\ln K_{298} = \frac{\Delta G_f^\circ}{RT} = \frac{46,531 \text{ j/mol}}{8,314 \frac{\text{j}}{\text{mol}} \cdot \text{K} \cdot 298\text{K}} = 0,0188$$

$$K_{298} = 1,0190$$

c. Konstanta kesetimbangan (K) pada T=120°C = 393K

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = \frac{-\Delta H_{r,0}}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

Dimana :

K_1 = konstanta kesetimbangan pada 298 K

K_2 = konstanta kesetimbangan pada suhu operasi

T_2 = suhu standar ($25^\circ\text{C} = 298 \text{ K}$)

T_1 = suhu operasi ($120^\circ\text{C} = 393 \text{ K}$)

R = tetapan gas ideal = $8,314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$

$\Delta H_{r,0}$ = panas reaksi standar pada 298 K

$$\ln \frac{K_2}{1,0190} = \frac{-296,54 \text{ j/mol}}{8,314 \frac{\text{j}}{\text{mol}\cdot\text{K}}} \left(\frac{1}{393\text{K}} - \frac{1}{298\text{K}} \right)$$

$$\ln \frac{K_2}{1,0190} = 0,0289$$

$$1,0294 = \frac{K_2}{1,0190}$$

$$K_2 = 1,0489$$

Karena harga konstanta kesetimbangan relatif kecil, maka reaksi berjalan bolak balik (*reversible*).