

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik

Perkembangan sektor industri merupakan salah satu indikasi kemajuan suatu negara. Sektor industri adalah sektor utama dalam perekonomian dunia pada umumnya dan Indonesia pada khususnya. Indonesia saat ini masih tergantung pada negara lain dalam memenuhi bahan baku, baik digunakan sebagai bahan baku maupun sebagai bahan pembantu. Oleh karena itu perlu adanya pembangunan industri kimia.

Salah satu industri kimia yang produknya paling banyak digunakan adalah kalsium klorida. Kalsium klorida dengan rumus kimia CaCl_2 merupakan salah satu jenis garam yang terdiri dari unsur kalsium (Ca) dan klorin (Cl). Dengan menekan titik beku air, kalsium klorida digunakan untuk mencegah pembentukan es dan digunakan untuk penghilang es (bahasa Inggris: de-ice). Aplikasi ini mengkonsumsi kalsium klorida dengan jumlah terbesar. Kalsium klorida relatif tidak berbahaya bagi tanaman dan tanah. Sebagai zat penghilang es, ini lebih efektif pada suhu yang lebih rendah daripada natrium klorida. Saat didistribusikan untuk penggunaan ini, biasanya berbentuk bola putih kecil berdiameter beberapa milimeter, yang disebut prill. Larutan kalsium klorida dapat mencegah pembekuan pada suhu serendah $-52\text{ }^\circ\text{C}$ ($-62\text{ }^\circ\text{F}$), sehingga ideal untuk mengisi ban pengolah pertanian sebagai cairan pemberat, membantu traksi di daerah beriklim dingin. Kalsium klorida dapat diperoleh dari kalsium karbonat dan dapat dimanfaatkan sebagai zat pengering (Dessicant), sebagai zat pencair es (De-icing) dan penekanan titik beku, sebagai sumber ion kalsium, sebagai zat aditif dalam industri makanan, pengendalian debu (roadbed stabilisasi), dan kegunaan lainnya. (Maria dan Wike, 2013). Kebutuhan kalsium klorida di dalam negeri semakin meningkat, hal ini erat kaitannya dengan penggunaannya di industri semen dan industri pulp.

1.2 Penentuan Kapasitas Produksi

Kapasitas produksi pabrik akan mempengaruhi perhitungan teknis maupun

ekonomis dalam perancangan pabrik. Semakin besar kapasitas produksi maka keuntungan yang didapat juga semakin besar. Tetapi ada beberapa faktor yang harus dipertimbangkan dalam penentuan kapasitas, antara lain ketersediaan bahan baku dan kebutuhan pasar.

1.2.1 Analisa Pasar

Analisa pasar dalam membangun suatu pabrik sangat diperlukan untuk memenuhi permintaan atau kebutuhan pasar. Hal-hal yang melatarbelakangi pemilihan kapasitas produksi yaitu sebagai berikut:

1. Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan untuk memproduksi Kalsium Klorida adalah Asam klorida (HCl) dan Batu kapur (*Limestone*). Asam klorida (HCl) yang digunakan sebagai bahan baku diperoleh dari PT. Industri Soda Indonesia (ISI) Sidoarjo dengan kapasitas produksi 56.400 ton/tahun serta harga pasar Rp 3.800/L. Sedangkan untuk kebutuhan Batu kapur (*Limestone*) didapat dari pertambangan bahan galian PT. Putra Lima Jaya, Tuban, Jawa Timur dengan kapasitas produksi 10-15 ton/hari dan harga pasaran Rp 1.800/kg, dengan pemesanan ukuran 25 *mesh*. Untuk mengatasi adanya goncangan ekonomi yang mengakibatkan pemberhentian suplai bahan baku dari PT. Putra Lima Jaya, maka bahan baku kami berupa Batu Kapur (*limestone*) akan kami suplai dari PT Niraku Jaya Abadi yang berada di Sale Rembang Jawa Tengah.

2. Kebutuhan Produk

Kebutuhan industri-industri kimia terhadap ketersediaan Kalsium Klorida diperkirakan akan semakin meningkat dengan kurangnya industri dalam negeri yang memproduksi Kalsium Klorida. Kalsium klorida(CaCl_2) yang diproduksi di akhir proses berencana dijual dengan harga pasaran 28.000/kg ke konsumen Untuk memenuhi kebutuhan Kalsium Klorida di Indonesia tidak sedikit industri di Indonesia yang harus impor. Berikut merupakan data perkembangan impor Kalsium Klorida di Indonesia ditunjukkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 1.1 Data impor CaCl₂ di Indonesia

Tahun	Import (kg)
2012	4003640
2013	9035777
2014	10346822
2015	8243054
2016	7327964

(Badan Pusat Statistik, 2017)

Beberapa negara di ASEAN seperti Malaysia, Singapura, dan Thailand juga mengalami peningkatan yang sama selama 5 tahun terakhir. Berikut merupakan data perkembangan Kalsium Klorida di negara lain ditunjukkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 1.2 Data impor Kalsium Klorida di beberapa negara ASEAN dari tahun 2012 - 2016

Negara	Kebutuhan (kg/tahun)
Malaysia	20645929,2
Singapura	11048582,6
Thailand	31895438,5

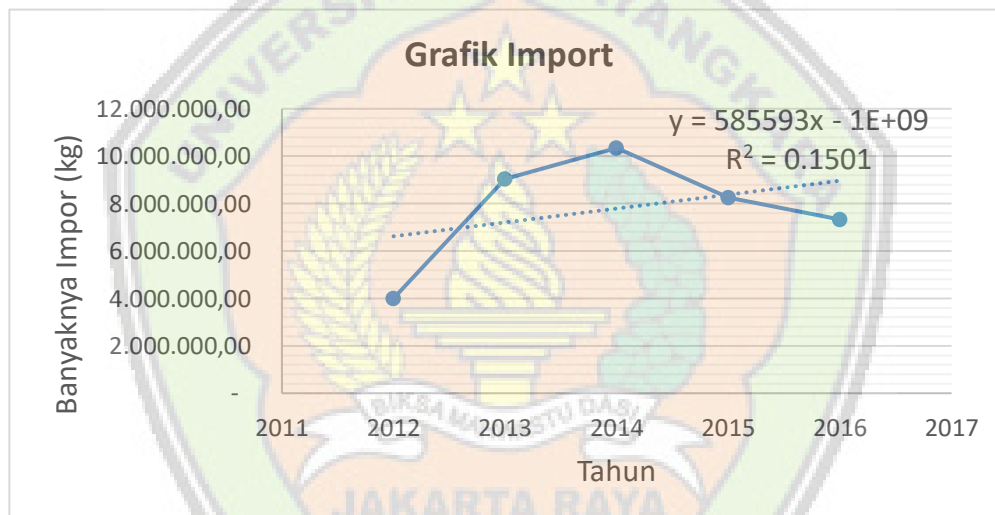
(United Nations Data, 2018)

1.2.2 Kapasitas Produksi

Berdasarkan data impor CaCl₂ (tabel 1.1), dilakukan proyeksi menggunakan regresi linier, didapat persamaan $y = 585593x - 1E+09$,

Tabel 1.1 Data impor CaCl₂ di Indonesia

Tahun	Import (kg)
2012	4003640
2013	9035777
2014	10346822
2015	8243054
2016	7327964



Maka didapati kebutuhan CaCl₂ untuk lima tahun kedepan (2021) adalah sebesar 182.897,86 Ton. Dari prediksi tersebut dapat ditetapkan bahwa kapasitas produksi untuk mendirikan pabrik di Indonesia sebesar 190.000 Ton.

1.3 Penentuan Lokasi Pabrik

Lokasi suatu pabrik akan menentukan kedudukan pabrik dalam persaingan maupun penentuan kelangsungan produksinya. Pabrik Kalsium Klorida dengan kapasitas 190.000 ton/tahun berencana akan didirikan di Kawasan Industri Gresik, Jawa Timur. Faktor-faktor yang mendukung untuk mempertimbangkan lokasi pabrik pemilihan pabrik, antara lain (Peters & Timmerhaus, 1991, Hal 91-95) :

a) Sumber Bahan Baku

Ketersediaan bahan baku merupakan bagian yang penting dalam mempertimbangkan lokasi pendirian pabrik. Hal ini mempengaruhi biaya yang dibutuhkan untuk transportasi dari lokasi berdirinya pabrik dengan sumber bahan baku, serta besar atau kecilnya ruang penyimpanan bahan baku. Hal-hal yang harus dipertimbangkan dalam menentukan ketersediaan bahan baku antara lain, harga bahan baku yang digunakan, biaya pengiriman atau transportasi, ketersediaan pasokan bahan baku, serta persyaratan penyimpanan. Berdasarkan beberapa pertimbangan tersebut maka lokasi yang cocok untuk mendirikan pabrik Kalsium Klorida berada di Kawasan Industri Gresik, Jawa Timur. Lokasi ini kami pilih karena berada diantara 2 sumber bahan baku utama untuk memproduksi Kalsium Klorida yaitu Asam klorida (HCl) yang diperoleh dari PT. Industri Soda Indonesia (ISI) Sidoarjo dan Batu kapur (*Limestone*) yang didapat dari pertambangan bahan galian PT. Putra Lima Jaya, Tuban.

b) Pemasaran Produk

Hasil produksi yang dihasilkan berencana untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri yang digunakan sebagai bahan pendukung industri semen, kaca, ban serta sebagai *dessicant* yang juga banyak dibutuhkan diperindustrian yang berlokasi di Surabaya khususnya Kawasan Industri Gresik. Selain itu, produk Kalsium Klorida akan di ekspor sebanyak 10% dari kapasitas produksi, hal ini bertujuan untuk meningkatkan nilai jual produk dan mampu bersaing dengan pasar internasional.

c) Sumber Daya Manusia

Ketersediaan tenaga kerja berdasarkan kualifikasi merupakan pertimbangan yang sangat penting, oleh sebab itu dibutuhkan tenaga kerja yang berkualitas serta ahli dalam proses produksi secara keseluruhan. Selain itu tenaga kerja pendukung juga diperlukan dalam proses produksi diperindustrian, namun dapat terpenuhi dari masyarakat yang tinggal di sekitar lokasi pabrik. Hal ini berdampak pada terciptanya

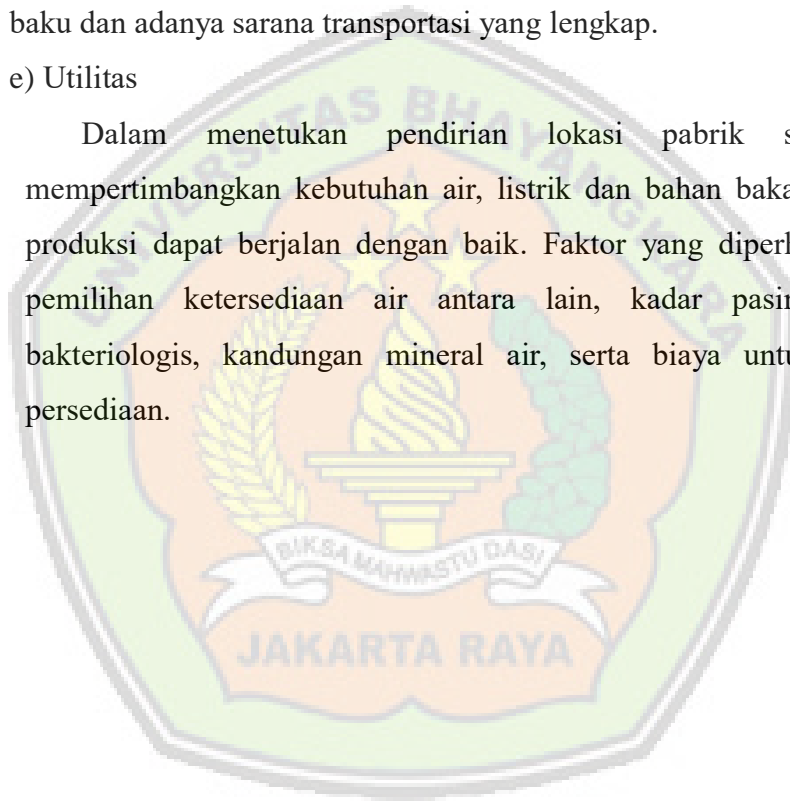
lapangan kerja baru sehingga mengurangi jumlah pengangguran.

d) Sarana Transportasi

Transportasi merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kelancaran proses produksi dari suatu pabrik. Hal tersebut perlu diperhatikan dalam penentuan lokasi pendirian pabrik karena kelancaran pengadaan bahan baku maupun pendistribusian produk berhubungan dengan pengadaan jumlah alat transportasi dan jenis transportasi yang dipilih. Pemilihan lokasi untuk mendirikan pabrik Kalsium Klorida berdasarkan pada beberapa hal seperti jarak pabrik dengan sumber bahan baku dan adanya sarana transportasi yang lengkap.

e) Utilitas

Dalam menentukan pendirian lokasi pabrik sangat perlu mempertimbangkan kebutuhan air, listrik dan bahan bakar agar proses produksi dapat berjalan dengan baik. Faktor yang diperhatikan dalam pemilihan ketersediaan air antara lain, kadar pasir, kandungan bakteriologis, kandungan mineral air, serta biaya untuk perawatan persediaan.



Tabel 1.3 Perbandingan Pemilihan Lokasi Pabrik

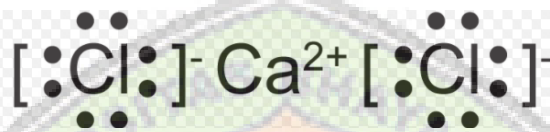
No	Lokasi	Gresik	Semarang	Bogor
1	Sumber Bahan Baku	Batu kapur (<i>Limestone</i>) dapat diperoleh dari pertambangan bahan galian PT. Putra Lima Jaya, Tuban dan Asam klorida (HCl) dapat diperoleh dari PT.Industri Soda Indonesia (ISI) Sidoarjo. Poin 20	Semarang merupakan salah satu kota yang tidak banyak bukit sehingga jarang ditemukan adanya pertambangan di daerah sana. Poin 10	Pertambangan batu kapur di Bogor masih ilegal sedangkan Asam klorida (HCl) dapat diperoleh dari PT. Asahimas Banten. Poin 10

2	Pemasaran Produk	<p>Di Kawasan Industri Gresik kebutuhan akan desican sangat banyak, dan terdapat pabrik semen, ban, dan kaca sehingga pemasaran produk kalsium klorida akan lebih mudah. Pengiriman ekspor ke Malaysia, Singapur, Thailand serta ke negara lainnya akan lebih mudah karena dekat dengan pelabuhan.</p> <p>Poin 15</p>	<p>Di Kawasan Industri Semarang masih banyak kebutuhan pabrik yang membutuhkan desican, sehingga pemasaran produk kalsium klorida akan lebih mudah. Pengiriman ekspor ke Malaysia, Singapur, Thailand serta ke negara lainnya akan lebih mudah karena dekat dengan pelabuhan.</p> <p>Poin 15</p>	<p>Di bogor terdapat PT. Indocemmen Tunggal Prakarsa yang memiliki kapasitas produksi 4,4 juta ton/tahun yang membutuhkan Kalsium Klorida sebagai bahan campuran dalam pembuatan semen.</p> <p>Poin 15</p>
3	Sumber Daya Manusia	<p>Rp 3.580.370,64</p> <p>Poin 10</p>	<p>Rp 2.310.087</p> <p>Poin 15</p>	<p>Rp 3.557.146,66</p> <p>Poin 10</p>

4	Sarana Transportasi	Jarak Kawasan Industri Gresik - Pelabuhan Tanjung Perak, Perak Utara adalah 23,0 km. Jarak antara kawasan dengan pertambangan adalah 86,3 km. Poin 10	Kawasan Industri Candi Purwoyoso - Pelabuhan Tanjung Emas adalah 11,7 km. Poin 15	Jarak Kawasan Industri Jalan Pancasila IV, Cicadas, Bogor - Pelabuhan Ratu adalah 82,8 km. Jarak antara kawasan dengan pertambangan adalah 15,6. Poin 10
5	Utilitas	Sumber air dari Bendung Gerak Sembayar dengan kapasitas air mencapai 1.000 liter per detik dan pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) berkapasitas 500 MW. Pasokan gas ke JIPE, baik PT PGN dan PT Pertagas menyatakan siap mendukung. Menurut SKK Migas, merekomendasikan sumber gas bisa dialirkan dari Lapangan Bontang dan Tangguh. Poin 20	Sumber air bisa di dapat dari aliran Sungai Silandak. Poin 5	Sumber air dari gunung Salak, listrik disuplai dari pembangkit listrik Station Compression Gas Utility Indocement Margaseta yang berlokasi di Citeureup, Bogor. Poin 15
TOTAL		75	60	60

1.4 Tinjauan Pustaka

Kalsium klorida adalah salah satu jenis garam berkomponen ionik yang terdiri dari kalsium (Ca) dan klorin (Cl). Kalsium klorida memiliki sifat yang mudah larut dalam air dan berwarna transparan. Kalsium klorida termasuk dalam garam yang padat pada suhu kamar, dan bertindak sebagai ion halida. Sama seperti kebanyakan garam pada umumnya, CaCl_2 bersifat higroskopis sehingga kalsium klorida harus disimpan dalam kontainer kedap udara yang rapat dan tertutup. Struktur kimia kalsium klorida secara umum dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut



Gambar 1. 1 Struktur kimia dari Kalsium Klorida

Kalsium klorida ditemukan dalam jumlah kecil bersama dengan garam lainnya, dalam air laut dan banyak mata air mineral lainnya. CaCl_2 juga ditemukan dalam jumlah banyak di dalam air garam alami di California dan Michigan (USA), dalam mineral *antarcticite* [29854-80-6], $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; dalam mineral *tachydrate* berwarna kuning [12194-70-6] (dari bahasa Yunani yang artinya “mudah larut”), $2\text{MgCl}_2 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$; dan dalam mineral *chlorocalcite* [12418-72-3], KCaCl_3 . Kalsium klorida dilaporkan juga terkandung dalam jumlah kecil di dalam mineral *carnallite* [63919-72-2], KMgCl_3 .

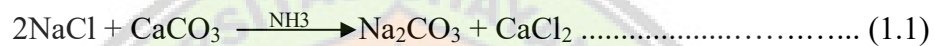
Kalsium klorida ditemukan pada awal abad ke-15 M namun baru mulai tidak mendapatkan perhatian ataupun penelitian pada akhir abad ke-18 M. Semua penelitian dilakukan dengan sampel yang disiapkan dari laboratorium karena CaCl_2 belum diproduksi secara komersil sampai dengan ditemukannya proses solvay pada pertengahan 1800 M. Proses ini awalnya didesain untuk memproduksi natrium karbonat. Kalsium klorida dianggap sebagai produk kotor sampai dikembangkan untuk digunakan beberapa tahun setelahnya. Kebutuhannya meningkat secara terus menerus seiring dengan ditemukannya berbagai kegunaan dari CaCl_2 tersebut. Seperti

pengendalian es dan debu, pengeboran minyak yang baik, pendinginan, *coal thawing*, dan pemrosesan makanan. Air garam alami berperan besar pada 70-75% produksi CaCl₂ di Amerika pada tahun 1983. (Ullmann's, 2006)

1.4.1 Pemilihan Proses

1. Proses Solvay

Pada proses *solvay* kalsium klorida dihasilkan sebagai produk samping, sementara produk utamanya adalah natrium karbonat (soda ash). Katalisator yang digunakan adalah ammonia dan CaCl₂ yang dihasilkan sangat encer yaitu sekitar 30-45%. Persamaan reaksi yang terjadi :

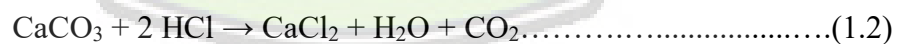


(Ullmann's, 2006)

CaCl₂ yang dihasilkan sebagai produk samping dikenal dengan *distiller waste*. Untuk mendapatkan CaCl₂.2H₂O perlu dilakukan beberapa proses antara lain dengan menjenuhkan, pengendapan, sentrifugasi, filtrasi, serta mengontrol pH untuk mengurangi larutan yang relatif korosi. (Mc Ketta, 1978)

2 Proses Asidifikasi CaCO₃ dengan HCl

Proses pembuatan kalsium klorida dihidrat dapat dilakukan dengan mereaksikan kalsium karbonat dan asam klorida.



Kalsium klorida dihasilkan oleh reaksi asam klorida dengan kalsium karbonat dalam media air. Reaktan akan direaksikan pada kondisi suhu 50°C dan tekanan atmosferis. Reaksi harus cukup air sehingga bisa sebagai media reaksi yang baik dimana CaCl₂ hasil akan terlarut semuanya dalam air, sehingga sisa CaCO₃ yang tidak larut bisa dipisahkan dari CaCl₂. Konversi reaksi cukup tinggi Namun demikian waktu reaksinya cukup lama sebagaimana reaksi yang melibatkan padatan garam bisa sampai 6-9 jam.

Tabel 1.4 Perbandingan proses pembentukan kalsium klorida (CaCl₂)

No	Spesifikasi	Proses Solvay	Proses Asidifikasi
1	Bahan Baku	✓ Mudah didapat (25)	✓ Mudah didapat (25)
2	Biaya Bahan baku	✓ Bahan baku mahal (10)	✓ Bahan baku murah (25)
3	Katalis	✓ Memerlukan (10)	✓ Tidak memerlukan (25)
4	Biaya operasi/alat	✓ Mahal karena banyaknya proses sehingga alat yang digunakan pun banyak (10)	✓ Murah karena tergantung pada konsentrasi HCl (15)
TOTAL		55	90

Poin: (1-25)

Berdasarkan pertimbangan kekurangan dan kelebihan proses diatas, maka proses pembentukan Kalsium Klorida dengan proses Asidifikasi adalah proses yang paling menguntungkan dalam pendirian sebuah pabrik.

1.4.2 Kinetika Reaksi

Reaksi antara kalsium karbonat dan asam klorida akan menghasilkan kalsium klorida dalam bentuk larutan, air dan gas CO₂. Reaksinya dalam fase cair dimana asam klorida larut dalam air dan calcium carbonat sedikit larut dalam air. Tidak ada reaksi samping yang terjadi, karena pengotor dalam garam umpan berupa air.

Persamaan reaksi kimia:



Persamaan reaksi antara kalsium karbonat dan asam klorida adalah reaksi orde 2 dan dinyatakan dengan persamaan kecepatan reaksi :

$$r_A = k.C_A^2$$

$$k = 72.671 \text{ m}^3/\text{kmol.jam}$$

(*Industrial Chemicals*, Faith-Keyes, 1975)

dengan:

$-r_A$ = kecepatan reaksi , kmol/ m³.jam

C_A = konsentrasi asam clorida , kmol/ m³

k = konstanta laju reaksi; 72,671 , m³/kmol.jam

Basis larutan HCl		: 1000	gr
Larutan HCl	Berat HCl	: 360	gr
36 % w	Berat H2O	: 640	gr
		0,64	L
	BM HCl	: 36,461	mol
	mol	: gr/mol	
		: 9,8736	gr/mol
	Molaritas HCl berlebih 10%	: $\frac{1}{1,1} \times \frac{mol}{L}$	
		: $\frac{1}{1,1} \times \frac{9,8736}{0,64}$	
		: 14,0249	M

Maka,

Reaksi	:	CaCO ₃	+	2 HCl	→	CaCl ₂	+	H ₂ O	+	CO ₂
Mula-mula		7,01247		14,02495						
Bereaksi		6,94235		13,88470		7,01247		7,01247		7,01247
Sisa		0,07012		0,14025		7,01247		7,01247		7,01247

$$-r_A = k \cdot C_A^2$$

$$-\frac{dC_A}{dt} = k \cdot C_A^2$$

$$-\frac{dC_A}{C_A^2} = k \cdot dt$$

$$-\int_{C_{A_0}}^{C_A} \frac{1}{C_A^2} \cdot dC_A = k \int_{t=0}^t dt$$

$$\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A_0}} = k \cdot t$$

$$\frac{1}{0,07012} - \frac{1}{7,01247} = 72,671 \cdot t$$

$$t = 0,1943 \text{ jam}$$

$$t = 11 \text{ menit } 40 \text{ detik}$$

Maka dengan harga konstanta kecepatan reaksi sebesar 72.671 m³/kmol.jam, sehingga membutuhkan waktu tinggal selama 11 menit 40 detik untuk reaksi di dalam Reaktor.

1.4.3 Tinjauan Thermodinamika

Tinjauan termodinamika bertujuan untuk mengetahui sifat reaksi selama proses berlangsung. Besar kecilnya panas reaksi (ΔH) menentukan jumlah energi yang dibutuhkan maupun dihasilkan. ΔH bernilai (+) atau eksotermis menunjukkan bahwa reaksi tersebut membutuhkan panas untuk keberlangsungan reaksi, sehingga semakin besar ΔH maka semakin besar juga energi yang dibutuhkan. Sedangkan ΔH bernilai negatif (-) atau endotermis menunjukkan bahwa reaksi tersebut menghasilkan panas selama proses reaksi berlangsung.

Penentuan panas reaksi berjalan secara eksotermis atau endotermis dapat diketahui dengan perhitungan panas pembentukan standar (ΔH_f°) pada $P = 2,026$ dan $T = 298$ K. Harga ΔH_f° masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 1.5 Nilai ΔH_f° komponen

No	Komponen	ΔH_f° (kcal/mol)	ΔG_f° (kcal/mol)
1	HCl (aq)400	-39,85	-31,330
	HCl (g)	-22,063	-22,778
2	CaCO ₃ (calcite)	-289,5	-270,8
3	CaCl ₂ (aq)	-209,15	-195,36
	CaCl ₂ (c)	-190,6	-179,8
4	H ₂ O (l)	-68,3174	-56,6899
	H ₂ O (g)	-57,7979	-54,6351
5	CO ₂ (g)	-94,052	-94,260

(Perry's Vol.07 tab.2-188)

Pada proses pembentukan butil oleat terjadi reaksi sebagai berikut :



$$\begin{aligned} \Delta H_f^\circ{}_{298\text{K}} &= \Delta H_f^\circ{}_{\text{reaktan}} - \Delta H_f^\circ{}_{\text{produk}} \\ &= (\Delta H_f^\circ{}_{\text{HCl}} + \Delta H_f^\circ{}_{\text{CaCO}_3}) - (\Delta H_f^\circ{}_{\text{CaCl}_2} + \Delta H_f^\circ{}_{\text{H}_2\text{O}} + \Delta H_f^\circ{}_{\text{CO}_2}) \\ &= (2 \cdot -39,85) + -289,5 - (-209,15 + -68,3174 + -94,052) \\ &= -369,2 - (-371,5194) \\ &= 2,3194 \text{ kcal/mol} \\ &= 9708,5445 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

a. Panas reaksi standar (ΔH_r°)

$$\begin{aligned} \Delta H_r^\circ{}_{298\text{K}} &= \Delta H_r^\circ{}_{\text{produk}} - \Delta H_r^\circ{}_{\text{reaktan}} \\ &= (\Delta H_f^\circ{}_{\text{CaCl}_2} + \Delta H_f^\circ{}_{\text{H}_2\text{O}} + \Delta H_f^\circ{}_{\text{CO}_2}) - (\Delta H_f^\circ{}_{\text{HCl}} + \Delta H_f^\circ{}_{\text{CaCO}_3}) \\ &= (-209,15 + -68,3174 + -94,052) - (2 \cdot -39,85) + -289,5 \\ &= -371,5194 - (-369,2) \end{aligned}$$

$$= -2,3194 \text{ kcal/mol}$$

$$= -9708,5445 \text{ J/mol}$$

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

(S.K Dogra & S. Dogra, 1990)

Sehingga ΔG_f° dari reaksi tersebut adalah :

$$\begin{aligned}\Delta G_f^\circ &= \Delta G_f^\circ \text{ produk} - \Delta G_f^\circ \text{ reaktan} \\ &= (\Delta G_f^\circ \text{CaCl}_2 + \Delta G_f^\circ \text{H}_2\text{O} + \Delta G_f^\circ \text{CO}_2) - (\Delta G_f^\circ \text{HCl} + \Delta G_f^\circ \text{CaCO}_3) \\ &= (-195,36 + -56,6899 + -94,260) - ((2 \cdot -31,330) + -270,8) \\ &= -346,3099 - (-333,46) \\ &= -12,8499 \text{ kcal/mol} \\ &= -53787,1114 \text{ J/mol}\end{aligned}$$

$$\ln K_{298} = -\frac{\Delta G_f^\circ}{RT} = -\frac{-53787,1114/\text{mol}}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol}} \cdot \text{K} \cdot 298\text{K}} = 21,7096$$

$$K_{298} = 2,6814 \times 10^9$$

c. Konstanta kesetimbangan (K) pada $T=50^{\circ}\text{C} = 323\text{K}$

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

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 ($50^{\circ}\text{C} = 323\text{ K}$)

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

ΔH_r° = panas reaksi standar pada 298 K

$$\ln \frac{K_2}{2,6814 \times 10^9} = \frac{-(-9708,5445)\text{ J/mol}}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol}} \cdot \text{K}} \left(\frac{1}{323} - \frac{1}{298} \right)$$

$$\ln \frac{K_2}{2,6814 \times 10^9} = -0,3033$$

$$0,7384 = \frac{K_2}{2,6814 \times 10^9}$$

$$K_2 = 1,9799 \times 10^9$$

Karena harga konstanta kesetimbangan besar, maka reaksi berjalan searah (*irreversible*).