

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik

Perkembangan serta pertumbuhan industri menjadi salah satu bagian dari usaha dalam pembangunan ekonomi guna menciptakan struktur ekonomi yang kokoh dan berkembang. Indonesia sebagai salah satu negara berkembang sedang melakukan peningkatan ekonomi salah satunya pada sektor perindustrian. Saat ini Indonesia masih sangat mengandalkan kegiatan impor sebagai penunjang kebutuhan dalam negeri yang digunakan untuk bahan produksi atau bahan yang lainnya. Tujuan dari pembangunan pada sektor industri agar Indonesia dapat menjadi negara yang memiliki kemandirian perekonomian dalam meningkatkan persaingan pasar luar negeri serta meningkatkan kegiatan ekspor Indonesia.

Menurut Kementerian Perindustrian pada tahun 2015 industri yang sedang berkembang pesat diantaranya adalah industri farmasi (62,26 %), industri makanan dan minuman, industri cat dan pelapisan (7,15%), industri kosmetika (1,19%) (Hitt, 2003). Industri asam asetat merupakan industri kimia yang memiliki prospek sangat menjanjikan. Selain itu, asam asetat juga memiliki *market share* yang cukup luas di beberapa bidang, diantaranya bidang kimia, pangan, farmasi, pembuatan zat aditif, fotografi, pembuatan terephthalat dan insektida. Asam Asetat (*acetic acid*) juga merupakan salah satu bahan kimia yang banyak digunakan di beberapa industri sebagai penunjang seperti industri *Vinyl Acetate*, *Acetic Anhydride*, *Purified Terephthalic Acid* (PTA), industri plastik, industri etil asetat, industri benang karet, dan industri tekstil.

PT. Indo Acidatama Chemical Industry (IACI) merupakan penghasil asam asetat pertama dan satu-satunya produsen asam asetat di Indonesia dan Asia Tenggara, dengan kapasitas produksi 33.000 ton/tahun (Acidatama, 2022). Dalam setahun, kebutuhan dunia akan asam asetat mencapai 6,5 juta

ton/hari, sedangkan di Asia Tenggara termasuk Indonesia, kebutuhan asam asetat dari tahun ke tahun dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 1.1 Kebutuhan asam asetat**

No	Tahun	Kebutuhan (ton/tahun)
1	2011	314.366,3
2	2012	307.781
3	2013	297.039,5
4	2014	299.853,8
5	2015	276.485,2

(Sumber : Indexbox, 2020)

Tingginya angka konsumsi tersebut membuat beberapa industri memerlukan impor dari negara lain, guna memenuhi kebutuhan asam asetat yang digunakan sebagai bahan baku. Sebab, ketersediaan bahan baku sangat mempengaruhi kelangsungan proses suatu pabrik. Sehingga untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, masih membutuhkan bantuan impor produk tersebut dari negara lain agar kebutuhan dalam negeri dapat terpenuhi.

Asam asetat dalam ilmu kimia disebut juga *acetid acid* atau *acidum aceticum*, akan tetapi di kalangan masyarakat asam asetat biasa disebut dengan cuka atau asam cuka (Kumbhar et al., 2019). Asam asetat memiliki rumus molekul  $\text{CH}_3\text{COOH}$  berbentuk cairan jernih, tidak berwarna, berbau menyengat dan berasa asam. Kegunaan dari asam asetat adalah sebagai katalisator pelarut dalam pembuatan PTA (*Pure Terephalic Acid*), bahan baku selulosa asetat, bahan baku etil asetat, bahan baku asetik anhidrat, untuk kebutuhan industri tekstil dan sebagai bahan tambahan makanan serta cuka makan (Zakiyah & Nuraini, 2021). PT. Indo Acidatama Chemical Industry (IACI) merupakan penghasil asam asetat pertama di Indonesia dan satu-satunya produsen asam asetat di Indonesia.

Untuk memenuhi kebutuhan asam asetat dalam negeri PT. IACI masih memerlukan impor dari negara lain, seiring dengan meningkatnya kebutuhan asam asetat. Dalam mengurangi jumlah impor asam asetat yang

akan terus meningkat, maka perlu membangun pabrik asam asetat di dalam negeri. Melihat dari beberapa aspek penting, salah satunya perhitungan ekonomi, harga produk asam asetat lebih mahal jika dibandingkan dengan harga bahan baku pembuatan. Berikut merupakan rincian harga bahan baku pembuatan dan harga produk asam asetat.

**Tabel 1.2 Harga bahan baku dan produk**

Pertimbangan	Harga
Bahan Baku :	
1. N-Butana (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	Rp. 15.878/Kg
2. Oksigen (O)	Rp. 0,-
3. Katalis Mangan (Mn)	Rp. 11.798/Kg
Produk :	
1. Asam Asetat (CH <sub>3</sub> COOH)	Rp. 42.000/Kg

(Alibaba, 2022)

**Tabel 1.3 Perhitungan Ekonomi Awal**

Komponen	BM	Harga (Rp/Kg)	Rata-rata Harga (Rp/Kg)	Total Harga Reaktan (Rp)	Total Harga Produk (Rp)
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58	15.878	920.924	1.569.814	2.520.000
O	16	-	-		
Mn	55	11.798	648.890		
CH <sub>3</sub> COOH	60	42.000	2.520.000		
<b>Total</b>				1.569.814	2.520.000

(Alibaba, 2022)

Profit = total harga produk – total harga reaktan

= Rp. 2.520.000 – Rp. 1.569.814

= Rp. 950.186

Dengan meninjau beberapa aspek diatas, maka pendirian pabrik asam asetat di Indonesia berpeluang baik atau layak didirikan dengan alasan sebagai berikut :

- 1) Memenuhi kebutuhan atau konsumsi Asam Asetat di Indonesia
- 2) Meningkatkan nilai Ekspor Asam Asetat, terutama di wilayah Asia Tenggara, serta meningkatkan nilai devisa negara
- 3) Mendorong perekonomian dalam negeri, industri kimia dan menciptakan lapangan pekerjaan, mengurangi pengangguran, dan dapat menumbuhkan dan memperkuat perekonomian di Indonesia
- 4) Ketersediaan bahan baku yang cukup
- 5) Sebagai bentuk aplikasi dari ilmu Teknik Kimia dalam pendirian Pabrik Asam Asetat di Indonesia

## 1.2 Perencanaan Produk

### 1.2.1 Penentuan Kapasitas Pabrik

Dalam menentukan kapasitas produksi dapat ditinjau berdasarkan pertimbangan yang telah dilakukan diantaranya, sebagai berikut:

#### A. Kebutuhan Impor Asam Asetat Asia Tenggara

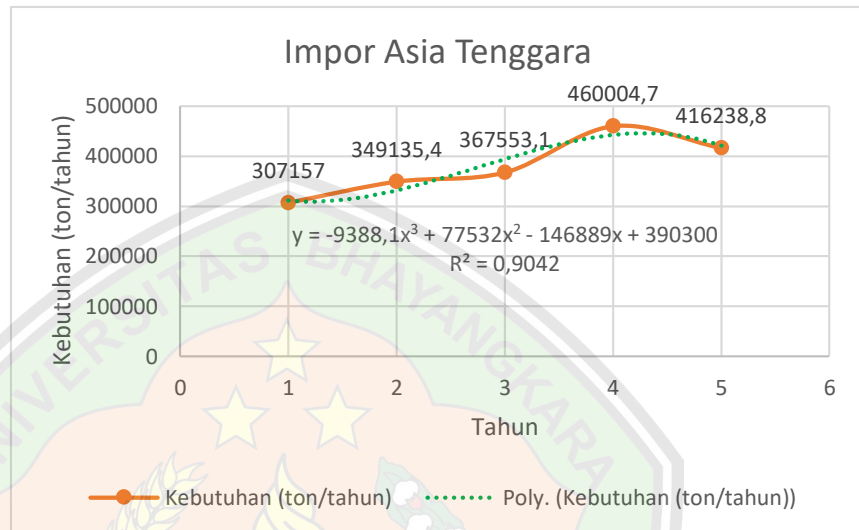
Berdasarkan data dari Indexbox tahun 2022, kebutuhan impor Asam Asetat di Asia Tenggara dari tahun 2011-2015 ditunjukkan pada tabel berikut.

**Tabel 1.4 Kebutuhan Impor Asam Asetat**

No.	Tahun	Kebutuhan (ton/tahun)
1	2011	307157
2	2012	349135,4
3	2013	367553,1
4	2014	460004,7
5	2015	416238,8

(Indexbox, 2022)

Untuk memprediksikan kebutuhan impor Asam Asetat di Asia Tenggara pada tahun 2026, maka dilakukan permodelan regresi polynomial orde 3 dari data yang ditunjukkan pada tabel 1.3. Grafik hasil permodelan regresi polynomial orde 3 dapat dilihat pada grafik berikut.



**Grafik 1.1 Impor Asam Asetat**

Persamaan permodelan regresi polynomial orde 3 berdasarkan grafik 1.1 untuk impor asam asetat adalah :

$$y = ax^3 + bx^2 - cx + d$$

Sehingga, persamaan tersebut menjadi :

$$y = -9388,1x^3 + 77532x^2 - 146889x + 390300$$

$$R^2 = 0,9042$$

$$x = \text{Selisih tahun dirancang pabrik} - \text{Data tahun terakhir}$$

$$= 2026 - 2015$$

$$= 11$$

Maka, prediksi kebutuhan impor asam asetat tahun 2026 ( $M_1$ ) menjadi :

$$\begin{aligned}
 y &= -9388,1x^3 + 77532x^2 - 146889x + 390300 \\
 &= \{(-9388,1)(11^3)\} + \{(77532)(11^2)\} \\
 &\quad - \{(146889)(11)\} + 390300 \\
 &= -4339668,1 \text{ ton/tahun}
 \end{aligned}$$

#### B. Produksi Asam Asetat di Asia Tenggara

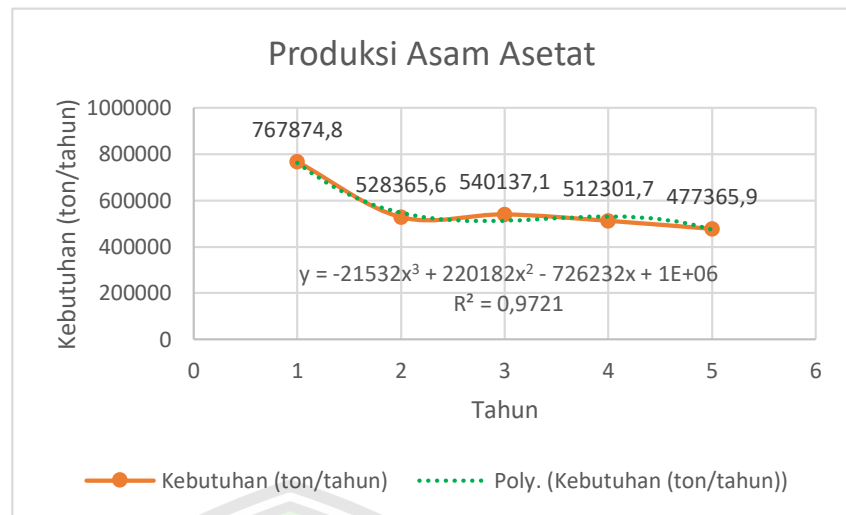
Berdasarkan data dari indexbox total produksi asam asetat di asia tenggara pada tahun 2011-2015 ditunjukkan pada tabel berikut.

**Tabel 1.5 Produksi Asam Asetat**

No.	Tahun	Kebutuhan (ton/tahun)
1	2011	767874,8
2	2012	528365,6
3	2013	540137,1
4	2014	512301,7
5	2015	477365,9

(Indexbox,2022)

Dari tabel untuk memprediksi total produksi asam asetat asia tenggara pada tahun 2026, digunakan permodelan regresi polynomial orde 3 dari data yang terdapat pada tabel Grafik yang dihasilkan pada permodelan regresi polynomial orde 3 sebagai berikut.



**Grafik 1.2 Produksi Asam Asetat**

Sehingga Persamaan pada permodelan regresi polynomial orde 3 dari grafik 1.2 untuk produksi asam asetat sebagai berikut.

$$y = ax^3 + bx^2 - cx + d$$

Sehingga, persamaan tersebut menjadi :

$$y = -21532x^3 + 220182x^2 - 726232x + 1E+06$$

$$R^2 = 0,9721$$

$x$  = Selisih tahun dirancang pabrik – Data tahun terakhir

$$= 2026-2015$$

$$= 11$$

Maka, prediksi produksi asam asetat tahun 2026 ( $M_2$ ) menjadi :

$$y = -21532x^3 + 220182x^2 - 726232x + 1E+06$$

$$y = \{(-21532)(11^3)\} + \{(220182)(11^2)\} -$$

$$\{(726232)(11)\} + 1E+06$$

$$y = -9005622 \text{ ton}/\text{tahun}$$

### C. Kebutuhan Ekspor Asam Asetat di Asia Tenggara

Berdasarkan data dari Indexbox pada tahun 2022 kebutuhan ekspor asam asetat di asia tenggara dari tahun 2011-2015 ditunjukkan pada tabel berikut.

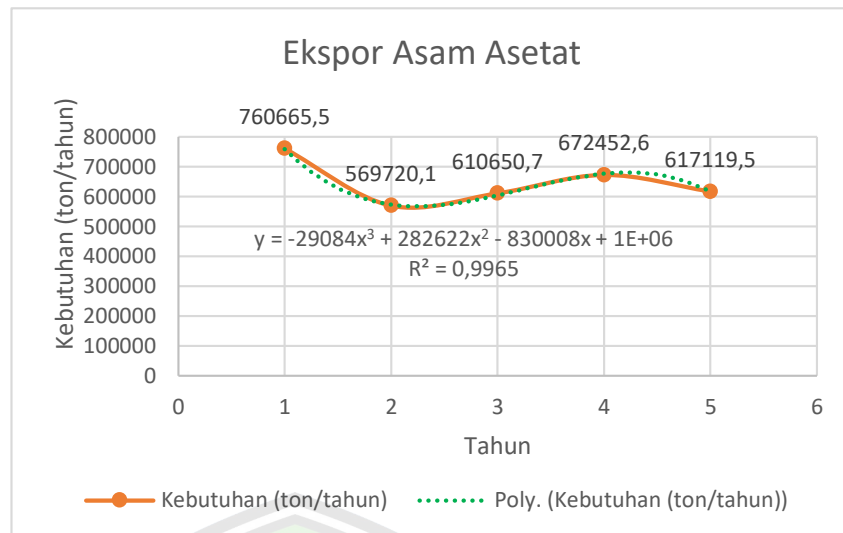
**Tabel 1.6 Ekspor Asam Asetat**

No.	Tahun	Kebutuhan (ton/tahun)
1	2011	760665,5
2	2012	569720,1
3	2013	610650,7
4	2014	672452,6
5	2015	617119,5

(Indexbox,2022)

Dari tabel 1.6 Hasil ekspor dari tahun 2011-2015 bervariasi, maka dari tabel tersebut dapat dibuat permodelan regresi polynomial orde 3 untuk memprediksi kebutuhan ekspor asam asetat di asia tenggara pada tahun 2026. Sehingga grafik yang diperoleh pada permodelan ini sebagai berikut.





**Grafik 1.3 Ekspor Asam Asetat**

Dari grafik didapatkan persamaan regresi polynomial orde 3 untuk kebutuhan ekspor asam asetat sebagai berikut.

$$y = ax^3 + bx^2 - cx + d$$

Sehingga, dari persamaan tersebut menjadi :

$$y = -29084x^3 + 282622x^2 - 830008x + 1E+06$$

$$R^2 = 0,9965$$

$x$  = Selisih tahun dirancang pabrik – Data tahun terakhir

$$= 2026-2015$$

$$= 11$$

Maka, prediksi ekspor asam asetat tahun 2026 ( $M_4$ ) menjadi :

$$y = -29084x^3 + 282622x^2 - 830008x + 1E+06$$

$$y = \{(-29084)(11^3)\} + \{(282622)(11^2)\} -$$

$$\{(830008)(11)\} + 1E+06$$

$$y = -12643630 \text{ ton}/\text{tahun}$$

#### D. Kebutuhan Komsumsi Asam Asetat di Asia Tenggara

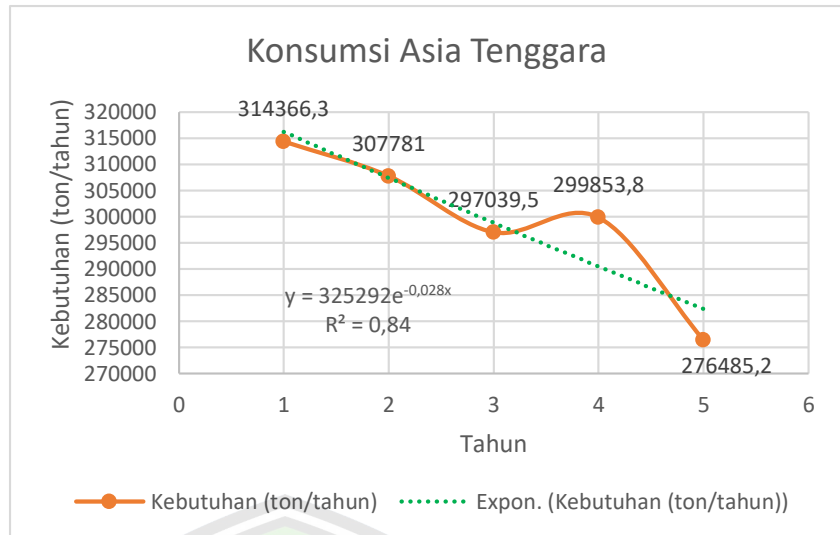
Berdasarkan data dari Indexbox tahun 2022 kebutuhan konsumsi asam asetat di asia tenggara dari tahun 2011-2015 ditunjukkan pada tabel berikut.

**Tabel 1.7 Konsumsi Asam Asetat**

No.	Tahun	Kebutuhan (ton/tahun)
1	2011	314366,3
2	2012	307781
3	2013	297039,5
4	2014	299853,8
5	2015	276485,2

(Indexbox, 2022)

Dari tabel untuk memprediksi total produksi asam asetat asia tenggara pada tahun 2026, digunakan permodelan regresi eksponensial dari data yang terdapat pada tabel Grafik yang dihasilkan pada permodelan regresi ekponensial sebagai berikut.



**Grafik 1.4 Konsumsi Asam Asetat**

Dari grafik didapatkan persamaan eksponensial untuk kebutuhan ekspor asam asetat sebagai berikut.

$$y = ae^{bx}$$

Sehingga, dari persamaan tersebut menjadi :

$$y = 325292e^{-0,028x}$$

$$R^2 = 0,8434$$

$x$  = Selisih tahun dirancang pabrik – Data tahun terakhir

$$= 2026-2015$$

$$= 11$$

Maka, prediksi ekspor asam asetat tahun 2026 ( $M_5$ ) menjadi :

$$y = 325292e^{-0,028x}$$

$$y = (325292)(e^{-0,028x})$$

$$y = 239062,0736 \text{ ton/tahun}$$

#### E. Menghitung Kapasitas Produksi

Penentuan kapasitas pabrik asam asetat yang akan dirancang pada tahun 2026 dilakukan dengan menghitung kapasitas pabrik baru menggunakan rumus persamaan (Kusnarjo, 2010).

$$M_1 + M_2 + M_3 = M_4 + M_5$$

$$M_3 = (M_4 + M_5) - (M_1 + M_2)$$

Dimana :

$$M_1 = \text{Impor} = -4339668,1 \text{ ton/tahun}$$

$$M_2 = \text{Produksi Pabrik Lama} = -9005622 \text{ ton/tahun}$$

$$M_3 = \text{Produksi Pabrik Baru} = ?$$

$$M_4 = \text{Ekspor} = -12643630 \text{ ton/tahun}$$

$$M_5 = \text{Konsumsi} = 239062,0736 \text{ ton/tahun}$$

Maka, dapat dihitung kapasitas pabrik baru pada tahun 2026 dari data diatas sebagai berikut :

$$M_3 = (M_4 + M_5) - (M_1 + M_2)$$

$$M_3 = (-12643630 \text{ ton/tahun} + 239062,0736 \text{ ton/tahun}) -$$

$$(-4339668,1 \text{ ton/tahun} + (-9005622 \text{ ton/tahun}))$$

$$M_3 = 940722,17 \text{ ton/tahun}$$

Dari perhitungan tersebut, maka didapatkan peluang kapasitas pabrik baru sebesar  $940722,17 \text{ ton/tahun}$ . Maka kapasitas pabrik baru yang akan dirancang pada tahun 2026 ditetapkan 5% dari peluang kapasitas yang didapatkan, sehingga kapasitas pabrik baru sebesar  $48.000 \text{ ton/tahun}$ . Diharapkan dengan adanya prancangan pabrik ini kebutuhan asam asetat di Indonesia dapat terpenuhi serta dapat meningkatkan devisa negara melalui pengeksportan asam asetat ke luar negeri.

### **1.2.2 Analisis Kebutuhan Bahan Baku**

Ketersediaan bahan baku yang mencukupi dapat menjaga keberlangsungan produksi yang akan dibutuhkan. Perencanaan yang optimal dalam menjaga ketersediaan bahan baku secara tidak langsung dapat menjaga pencapaian laba perusahaan yang telah direncanakan. Analisis kebutuhan bahan baku terkait dengan penentuan volume, ketepatan waktu dan biaya. Analisis kebutuhan bahan baku sangat penting dan harus sesuai dengan rencana produk berpengaruh terhadap kelancaran manufaktur, ketersediaan bahan baku yang memadai dapat menjaga keberlangsungan produksi. Analisis kebutuhan bahan baku yang optimal dapat menjaga memperoleh laba perusahaan yang telah direncanakan.

### **1.2.3 Analisis Kebutuhan Alat Proses**

Perlunya analisis kebutuhan alat proses sebelum mendirikan pabrik industri kimia dituntut untuk meningkatkan produktivitas usaha dengan cara :

- A. Melakukan aktifitas yang usaha efisiensi di capai dengan cara mengurangi aktivitas nir produktif, tata letak efisien akan menekan biaya material handling.
- B. Meningkatkan produktivitas personal yang terlibat misalnya personal keamanan dan kenyamanan kerja.
- C. Tata letak yang perlu dirancang .

### 1.3 Pemilihan Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik secara geografis dapat memberikan pengaruh yang besar terhadap kelancaran kegiatan industri. Oleh karena itu harus dipertimbangkan agar dapat memberikan keuntungan yang sebesar-besarnya pada perusahaan. Pabrik asam asetat ini direncanakan akan didirikan di Bontang, Provinsi Kalimantan Timur. Pemilihan lokasi di Bontang, Kaltim Industrial Estate (KIE), dengan mempertimbangkan beberapa hal, diantaranya :

#### A. Letak Sumber Bahan

Baku Bahan baku utama yaitu n-butana diperoleh dari PT. BADAQ NGL yang berlokasi di Bontang dengan kemurnian n-butana sebesar 97,5 % dan pentana 2,5%. Di PT BADAQ NGL ini mempunyai kapasitas 1 juta ton/tahun sehingga sangat mencukupi untuk kebutuhan pabrik asam asetat yang akan didirikan. Pengadaan bahan baku harus benar-benar diperhatikan karena merupakan kebutuhan utama bagi kelangsungan dan kelancaran suatu produksi.

#### B. Utilitas

Sarana utilitas utama yaitu air dan listrik masing-masing dipenuhi dari pihak pengelola kawasan industri, baik dari sumber air tanah maupun sungai serta jaringan PLN setempat (untuk kebutuhan listrik).

#### C. Fasilitas Transportasi

Sarana transportasi sangatlah penting, berkaitan dengan kelancaran penyediaan bahan baku dan pemasaran produk. Pemasaran produk terutama dilakukan lewat jalur laut sedangkan transport bahan baku tidak mengalami banyak permasalahan karena berdekatan dengan pabrik penghasil bahan baku yaitu PT. BADAQ NGL.

#### D. Pemasaran

Daerah pemasaran sebagian besar berada di luar Kalimantan sehingga untuk mempermudah pemasaran ditempuh lewat jalur laut. Hal ini tidak menjadi masalah karena asam asetat adalah bahan baku yang

sangat dibutuhkan bagi banyak industri terutama di Pulau Jawa yang selama ini penyediaannya sangat tergantung pada pasar impor.

#### E. Kebijakan Pemerintah

Pendirian pabrik asam asetat ini di dukung oleh kebijakan pemerintah kota Bontang dalam kaitannya untuk menjadikan kota Bontang sebagai pusat kawasan Industri di Kalimantan Timur. Selain itu dengan pendirian pabrik asam asetat ini di harapkan pemerataan kesempatan kerja dan hasil pembangunan khususnya di luar Pulau Jawa bisa segera tercapai.

#### F. Sarana dan Prasarana

Pemilihan lokasi pabrik asam asetat didirikan di kota Bontang karena kota Bontang merupakan salah satu kota industri di Indonesia. Dalam hal tata kelola Industri kota Bontang telah membangun kawasan Industri yaitu Kaltim Industrial Estate (KIE) sehingga sarana dan prasarana penunjang sangat memadai untuk investasi dan untuk itu sangatlah layak pabrik asam asetat ini di dirikan kota Bontang

### 1.4 Tinjauan Pustaka

#### 1.4.1 Asam Asetat

Asam asetat ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) merupakan asam organik korosif yang memiliki bau tajam, rasa terbakar, dan sifat melepuh yang merusak. Asam asetat juga dikenal dengan nama *methane carbocyclic* atau *rthanoic acid*. Dapat ditemukan dalam air laut, air asin ladang minyak, hujan, dan dalam konsentrasi kecil di banyak cairan tanaman dan hewan. Asam asetat adalah cairan jernih dan tidak berwarna. Asam asetat memiliki beberapa zat pengotor di dalamnya yakni, air, asetaldehida, asetat anhidrida, asam format, biasetil, metil asetat, etil asetoasetat, besi dan merkuri. Namun diantara banyaknya zat pengotor tersebut, air merupakan pengotor utama dalam asam asetat, sedangkan zat-zat lainnya hanya sebagian kecil saja.

Asam asetat merupakan salah satu asam karboksilat paling sederhana setelah asam formiat. Larutan asam asetat dalam air

merupakan sebuah asam lemah, artinya hanya terdisosiasi sebagian menjadi ion  $H^+$  dan  $CH_3COO^-$ . Asam asetat merupakan gabungan hybrid dalam bentuk ester dan dianggap terbentuk dari carbonyl oksigen. Metode esterifikasi, reaksi asam asetat dengan memakai katalis asam anorganik sangat baik dipakai sebagai katalis pada reaksi esterifikasi (Le Berre et al., 2011)

Asam asetat yang mengandung kurang dari 1% air disebut glasial. Asam asetat bersifat higroskopis dan salah satu cara mudah untuk menentukan kemurniannya adalah titik beku. Asam asetat juga dikenal sebagai asam organik yang biasa digunakan sebagai pemberi rasa asam dan aroma dalam makanan. Bahan kimia ini memiliki titik didih  $118^\circ C$  dengan tekanan atm, serta pada konsentrasi tinggi akan menimbulkan korosi pada beberapa jenis logam.

Penggunaan asam asetat sebagai pereaksi kimia sudah dikenal sejak abad ke-3 sebelum Masehi. Namun, seiring dengan berkembangnya teknologi, asam asetat dapat diproduksi secara sintesis ataupun fermentasi bakteri. Produksi asam asetat secara sintesis dalam skala industri dapat melalui beberapa metode, diantaranya karbonilasi metanol dengan karbon monoksida, oksidasi butana dengan oksigen atau udara, oksidasi asetaldehida dengan oksigen atau udara, oksidasi etana dengan oksigen atau udara, oksidasi alkohol dengan fermentasi *quick-vinegar*, sintesis gas metan, elektrolisis etanol (elektrosintesis) dan destilasi kayu kering. Sedangkan produksi asam asetat melalui fermentasi bakteri merupakan metode alternatif dalam industri kimia. Dalam dunia industri kimia, produksi dengan metode ini hanya mencapai 10%. Contoh dari produksi asam asetat melalui fermentasi bakteri yakni metode fermentasi anaerob.



### 1.4.2 Kegunaan Asam Asetat

Asam asetat merupakan bahan kimia yang paling sering digunakan di berbagai industri. Produk asam asetat telah banyak digunakan oleh berbagai industri antara lain :

- a) Industri PTA atau *Pure Terephalic Acid*. Industri PTA merupakan pengonsumsi asam asetat terbesar, peran asam asetat yakni sebagai media pelarut katalis.
- b) Industri Etil Asetat. Asam asetat merupakan bahan baku utama, dimana untuk memproduksi 1 ton etil asetat diperlukan 680 kg asam asetat.
- c) Industri Tekstil. Salah satunya industri pencelupan kain, pada industri ini, asam asetat berfungsi sebagai pengatur pH.
- d) Industri Asam Cuka. Pada industri ini, asam asetat berfungsi sebagai bahan baku utama. Industri ini juga termasuk dalam bidang pangan, pada bidang pangan, asam asetat umumnya digunakan sebagai pengatur keasaman.
- e) Industri benang karet, sebagai bahan penggumpal (*coagulant*).

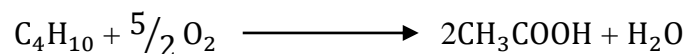
Selain itu, asam asetat juga digunakan sebagai bahan setengah jadi untuk membuat bahan-bahan kimia lainnya seperti *vinyl acetate*, *cellulose acetate*, *acetic acid anhydride*, *chloro acetate*.

## 1.5 Konsep Reaksi

### 1.5.1 Dasar Reaksi

Proses pembuatan asam asetat dari butana dan udara berdasarkan reaksi oksidasi n-butana terbagi menjadi dua, yakni reaksi utama dan reaksi samping.

Reaksi utama :



Reaksi samping :

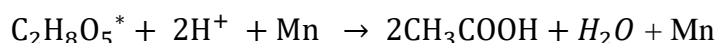
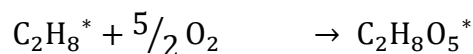


Reaksi pembentukan asam asetat dengan oksidasi n-butana dengan udara bersifat eksotermis irreversible dengan kondisi operasi non isothermal non adiabatic. Dalam pra-rancangan pabrik asam asetat dari butana dan udara reaktor yang digunakan berjenis *trickle bed* dengan katalis mangan. Pemilihan reaktor ini memiliki beberapa alasan yang telah dipertimbangkan, diantaranya :

- 1) Reaksi sangat eksotermis sehingga membutuhkan luas perpindahan panas yang besar, agar koneksi dengan pendingin dapat berlangsung optimal.
- 2) Tidak diperlukan pemisahan katalis dari gas keluaran reaktor.
- 3) Umur katalis panjang, 12-15 bulan.
- 4) Pengendalian suhu relatif mudah karena menggunakan tipe *shell and tube*.
- 5) Konstruksi reaktor *trickle bed* lebih sederhana jika dibandingkan dengan reaktor *fluidized bed* sehingga biaya pembuatan, operasional, dan perawatannya relatif murah.

### 1.5.2 Mekanisme Reaksi

Mekanisme reaksi pembentukan asam asetat dari n-butana dan oksigen dengan katalis mangan adalah sebagai berikut :



Reaksi yang terjadi melibatkan bahan baku dan katalis mangan yang berfungsi sebagai inisiator, yang akan mengarahkan pembentukan radikal bebas. Radikal bebas yang terbentuk akan mengikat oksigen dari udara. Kemudian dengan bantuan katalis akan terbentuk asam asetat.

### 1.5.3 Kondisi Operasi

Kondisi operasi pada pra-rancangan pabrik asam asetat yakni *non isothermal non adiabatic* dengan parameter fisika sebagai berikut :

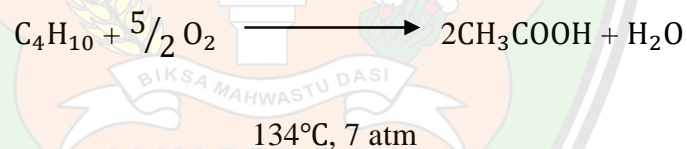
- 1) Suhu Reaksi = 134°C
- 2) Tekanan = 7 atm
- 3) Perbandingan mol udara dan butana = 5,8 : 1
- 4) Konversi = 98%
- 5) Katalis = mangan

(Lese et al., 1978)

### 1.5.4 Tinjauan Termodinamika

Tinjauan Termodinamika digunakan untuk mengetahui sifat dari reaksi yang terjadi apakah membutuhkan panas (endotermis) atau melepaskan (eksotermis) serta untuk mengetahui arah reaksi tersebut, berjalan searah (irreversible) atau bolak-balik (reversible).

Reaksi Pembentukan Asam asetat :



Berikut merupakan tabel kebutuhan data tinjauan termodinamika :

**Tabel 1.8 Kebutuhan Data Tinjauan Termodinamika**

Senyawa	$\Delta H_f^\circ_{298} \text{ (kJ/mol)}$	$\Delta G_f^\circ_{298} \text{ (kJ/mol)}$
n-Butana (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	-126,15	-17,15
Oksigen (O)	0,00	0,00
Asam Asetat (CH <sub>3</sub> COOH)	-434,84	-376,69
Air (H <sub>2</sub> O)	-241,80	-277,36

(Yaws, 1999)

(C.L. Yaws, C. Gabbula, 2003)

Menentukan Sifat Reaksi ( $\Delta H_f^\circ_{298}$ )

**Tabel 1.9 Data ( $\Delta H_f^\circ$ ) pada suhu 25°C**

Senyawa	$\Delta H_f^\circ_{298}$ ( $\text{kJ/mol}$ )
n-Butana ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ )	-126,15
Oksigen (O)	0,00
Asam Asetat ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )	-434,84
Air ( $\text{H}_2\text{O}$ )	-241,80

(Yaws, 1999)

(C.L. Yaws, C. Gabbula, 2003)

Diketahui data energi pembentukan ( $\Delta H_f^\circ$ ) suhu 25°C pada tekanan 1 atm, maka dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$\Delta H_f^\circ \text{ Produk} = 2\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O}$$

$$= \left( 2 \times (-434,84 \text{ kJ/mol}) \right) + (-241,80 \text{ kJ/mol})$$

$$= (-869,68 \text{ kJ/mol}) + (-241,80 \text{ kJ/mol})$$

$$= -1111,48 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f^\circ \text{ Reaktan} = \text{C}_4\text{H}_{10} + \frac{5}{2} \text{O}_2$$

$$= (-126,15 \text{ kJ/mol}) + \left( \frac{5}{2} \times 0,00 \right)$$

$$= -126,15 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f^\circ_{298} = \Delta H_f^\circ \text{ Produk} - \Delta H_f^\circ \text{ Reaktan}$$

$$= (-1111,48 \text{ kJ/mol}) - (-126,15 \text{ kJ/mol})$$

$$= -985,33 \text{ kJ/mol}$$

$$= -235,34 \text{ kkal/mol}$$

Dari hasil  $\Delta H_f^\circ_{298}$  memiliki nilai negatif yang artinya reaksi bersifat eksotermis dan melepas panas dalam proses reaksi sebesar  $985,33 \text{ kJ/mol}$ .

Menentukan Energi Bebas Gibbs

Energi Gibbs ( $\Delta G_f^\circ$ ) digunakan untuk menentukan reaksi yang terjadi bersifat searah (irreversible) atau bolak-balik (reversible).

**Table 1.10 Data ( $\Delta G_f^\circ$ ) pada suhu 25°C**

Senyawa	$\Delta G_f^\circ_{298} \text{ (kJ/mol)}$
n-Butana ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ )	-17,15
Oksigen (O)	0,00
Asam Asetat ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )	-376,69
Air ( $\text{H}_2\text{O}$ )	-277,36

(Yaws, 1999)

(C.L. Yaws, C. Gabbula, 2003)

Dari data Energi Gibbs ( $\Delta G_f^\circ$ ) yang diketahui dengan suhu 25°C pada tekanan 1 atm, maka dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$\Delta G_f^\circ \text{ Produk} = 2\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O}$$

$$= \left( 2 \times \left( -376,69 \text{ kJ/mol} \right) \right) + \left( -277,36 \text{ kJ/mol} \right)$$

$$= \left( -753,38 \text{ kJ/mol} \right) + \left( -277,36 \text{ kJ/mol} \right)$$

$$= -1030,74 \text{ kJ/mol}$$

$$\begin{aligned}\Delta G_f^\circ \text{ Reaktan} &= \text{C}_4\text{H}_{10} + \frac{5}{2} \text{O}_2 \\ &= (-17,15 \text{ kJ/mol}) + \left(\frac{5}{2} \times 0,00\right) \\ &= -17,15 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta G_f^\circ_{298} &= \Delta H_f^\circ \text{ Produk} - \Delta H_f^\circ \text{ Reaktan} \\ &= (-1030,74 \text{ kJ/mol}) - (-17,15 \text{ kJ/mol}) \\ &= -1013,59 \text{ kJ/mol} = -242,09 \text{ kkal/mol}\end{aligned}$$

Maka, karena hasil  $\Delta G_f^\circ_{298}$  negatif maka reaksi yang terjadi dapat berjalan membentuk asam asetat.

Perhitungan konstanta kesetimbangan (K) dapat ditinjau dari rumus sebagai berikut :

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

atau

$$\ln K = -\frac{\Delta G^\circ}{RT}$$

$$K = \exp\left(-\frac{\Delta G^\circ}{RT}\right)$$

Dimana :

$\Delta G^\circ$  = Energi bebas Gibbs standar (kkal/mol)

R = Tetapan gas ideal (1,987 kkal/mol.K)

T = Temperatur (K)

K = Konstanta kesetimbangan

Dari persamaan diatas dapat dihitung Konstanta Kesetimbangan pada  $T_{ref} = 298$  K sebagai berikut :

$$\Delta G_f^{\circ}{}_{298} = -RT \ln K_{298}$$

$$\ln K_{298} = -\frac{\Delta G_f^{\circ}{}_{298}}{RT}$$

$$K_{298} = \exp\left(-\frac{\Delta G_f^{\circ}{}_{298}}{RT}\right)$$

$$= \exp\left(-\frac{(-242,09 \text{ kkal/mol})}{(1,987 \text{ kkal/mol.K})(298 \text{ K})}\right)$$

$$= \exp(0,4088487932)$$

$$= 1,505$$

Reaksi dijalankan pada suhu  $134^{\circ}\text{C}$ , sehingga harga konstanta kesetimbangan (K) pada temperatur  $134^{\circ}\text{C}$  (407 K) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{K_{operasi}}{K_{298}} = \exp\left(-\frac{\Delta H_f^{\circ}{}_{298}}{R}\right)\left(\frac{1}{T_{operasi}} - \frac{1}{T_{ref}}\right)$$

$$\frac{K_{operasi}}{1,505} = \exp\left(-\frac{(-235,34 \text{ kkal/mol})}{1,987 \text{ kkal/mol.K}}\right)\left(\frac{1}{407 \text{ K}} - \frac{1}{298 \text{ K}}\right)$$

$$\frac{K_{operasi}}{1,505} = 0,879903$$

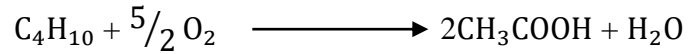
$$K_{operasi} = 1,35304$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai K sebesar 1,35304 karena harga  $K > 1$  maka reaksi bersifat searah (irreversible) bergeser

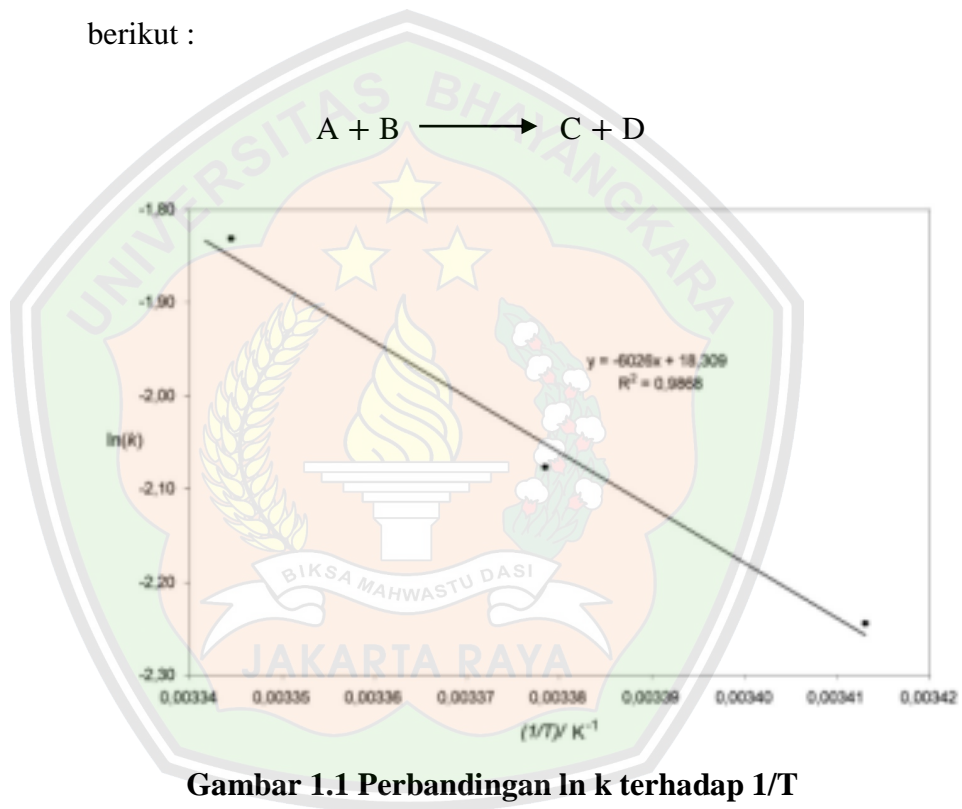
kearah kanan atau produk dan reaksi yang terjadi tidak akan kembali bereaksi kearah reaktan.

### 1.5.5 Tinjauan Kinetika Reaksi

Reaksi Pembentukan asam asetat :



Secara kinetika persamaan reaksi diatas dapat dituliskan sebagai berikut :



Gambar 1.1 Perbandingan ln k terhadap 1/T

(Kralj, 2007)

(Kralj, 2012)

Energi aktivasi ( $E_a$ ) merupakan energi minimum yang dibutuhkan agar reaksi kimia dapat terjadi. Untuk mendapatkan nilai Energi aktivasi ( $E_a$ ) maka, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Arrhenius sebagai berikut :



$$k = A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$$

atau

$$\ln k = -\frac{E_a}{RT} \left(\frac{1}{T}\right) + \ln(A)$$

Dimana :

K = Konstanta kecepatan reaksi

A = Faktor Frekuensi

R = Tetapan gas ideal (1,987 kkal/mol.K)

E<sub>a</sub> = Energi aktivasi (kkal/mol)

T = Suhu (K)

Dimana, dalam grafik jurnal *Checking the Kinetics of Acetic Acid Production by Measuring the Conductivity* (Kralj, 2007)

diketahui yaitu :

$$y = mx + c$$

$$y = -6026x + 18,309$$

$$-\frac{E_a}{RT} = -6026$$

$$E_a = 11973,7 \text{ kal/gmol}$$

$$E_a = 11,9737 \text{ kkal/gmol}$$

$$R = 1,987 \text{ kkal/mol.K}$$

$$T = 407 \text{ K}$$

$$\begin{aligned}k &= A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \\&= (18,309) \exp(-(-6026)) \\&= 159,359\end{aligned}$$

Jadi, nilai kinetik (k) yang diperoleh pada perhitungan diatas sebesar 159,359.

