

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Industri kimia sangat penting karena menghasilkan dan memenuhi sebagian besar kebutuhan manusia. Dengan meningkatnya kebutuhan akan bahan pendukung, industri kimia akan terus berkembang di Indonesia. Untuk itu, Indonesia harus melakukan hal-hal baru untuk meningkatkan produksi produknya yang berkualitas tinggi, efisien, dan efektif.

Sampai saat ini, sebagian besar kebutuhan industri kimia diimpor dari luar negeri. Furfuril alkohol yang permintaannya telah meningkat dalam beberapa tahun terakhir, adalah salah satu bahan kimia yang diperlukan. Indonesia banyak mengimpor furfuril alkohol dari China, Korea, dan Thailand. Karena permintaan akan meningkat di tahun-tahun mendatang, ada kemungkinan Indonesia akan membangun pabrik untuk membuat furfuril alkohol sendiri. Produk furfuril alkohol dapat diekspor untuk memenuhi permintaan global selain di pasar domestik (Biro Pusat Statistik, 2024).

Furfuril alkohol adalah turunan dari furfural, yang juga merupakan senyawa alkohol primer heterosiklik dengan rumus empiris $C_5H_6O_2$. Ini adalah larutan bening yang larut dalam air dan pelarut organik, dan tidak hanya volatile, tetapi juga memiliki bau almond yang khas (Witono, 2005).

Fungsi furfuril alkohol dalam konteks industri, seperti :

1. Sebagai pelarut dalam resin fenolik dan pelarut dalam pewarna dan perekat
2. Sebagai pelarut aktif pada serat sintesis
3. Sebagai bahan baku pembuatan turunan furfuril alkohol seperti tetrahidrofurfuril alkohol
4. Sebagai pelarut dalam resin fenolik dan pelarut dalam pewarna dan perekat
5. Sebagai bahan penguat daya tahan dan kekerasan kayu (Witono, 2005).

Furfuril alkohol, yang telah dibahas di atas, memiliki banyak manfaat, sehingga membangun pabriknya pasti akan membantu industri yang menggunakan proses kimia karena akan membuatnya lebih mudah diakses di dalam negeri.

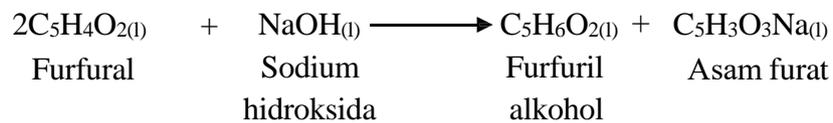
I.2. Tinjauan Pustaka

I.2.1 Tinjauan Proses

Pembuatan furfuril alkohol dapat melalui dua metode, adapun dua metode yang dapat digunakan sebagai berikut :

1. Reduksi furfural dengan NaOH (Reaksi Cannizaro)

Reaksi :



Pada tahun 1864, furfural direduksi dalam fasa cair melalui metode *batch* dengan skala laboratorium. Berlangsung pada fase cair dengan temperatur 70 °C dan tekanan 10 atm. Perbandingan furfural dengan NaOH sebesar 3:1. Dengan menggunakan NaOH untuk mengurangi furfural, konversi maksimalnya hanya 50%; produk sampingnya adalah asam furat, yang sulit untuk dimurnikan, sehingga tidak sesuai untuk skala industri (Ullmann, 2005).

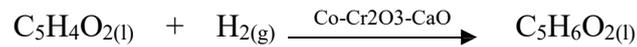
2. Reduksi Furfural Menggunakan Hidrogen (Hidrogenasi Furfural) dengan Katalis.

FN Peters dari Quakers Oats Company dan H. Adkins dan R. Connor dari University of Wisconsin mengembangkan metode reduksi furfural dengan hidrogen pada skala industri menggunakan proses kontinyu. Katalis logam yang memiliki berbagai komposisi adalah katalis yang digunakan. Hidrogenasi furfural dapat dilakukan melalui reaksi fasa uap dan fasa cair (Ullmann, 2005).

a. Hidrogenasi Furfural Fase Cair

Proses ini hanya terjadi pada skala kecil dan kondisinya menggunakan tekanan tinggi untuk mencegah penguapan.

Reaksi:



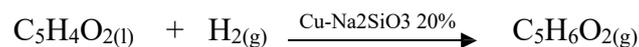
Dalam proses ini, katalis *Copper chromite* digunakan dan ditambahkan *Calcium oxide*. Reaksi ini beroperasi secara kontinyu dengan tekanan 20-29 atm, suhu 180 °C, konversi mencapai 99%.

Karena reaksi berlangsung secara cair-gas, sehingga dibutuhkan proses pemisahan produk lebih lanjut. Proses ini menghasilkan produk samping berupa *methyl furan* dan polimernya (US.Patent 4,251,396).

b. Hidrogenasi Furfural Fase Uap

Dalam industri produksi furfural alkohol, proses kontinyu ini adalah yang paling umum. Bahan baku, furfural cair, diuapkan sebelum masuk ke reaktor, sehingga reaksi berlangsung dalam fasa yang sama (uap). Proses ini menggunakan katalis *copper* yang mengandung 20% *sodium silicate*.

Reaksi :



Reaksi ini beroperasi secara kontinyu. Suhu dan tekanan operasinya adalah 132-177 °C dan 1 atm (atmosfer). *Fixed bed multitube reactor* merupakan reaktor yang sering digunakan untuk proses hidrogenasi fase uap. Proses ini menghasilkan konversi lebih dari 99%.

Furfural yang diuapkan, dicampur dengan gas hidrogen berlebih (*excess*) agar diperoleh kemurnian produk yang tinggi. Gas hidrogen yang berlebih akan didaur ulang (*recycle*) sehingga operasi menjadi efisien (US.Patent 2,754,304).

I.2.2 Pemilihan Proses

Tabel I.1. Perbandingan Proses Pembentukan Furfuril Alkohol

No	Karakteristik	Reduksi Furfural dengan NaOH (reaksi Cannizaro)	Hidrogenasi Furfural fase cair	Hidrogenasi Furfural fase uap
1	Proses	Batch	Kontinyu	Kontinyu
2	Suhu Operasi	70 °C	180 °C	132-177 °C
3	Tekanan Operasi	10 atm	20-29 atm	1 atm
4	Fase Reaksi	Cair-cair	Cair-gas	Gas-gas
5	Katalis	-	<i>Copper Cobalt</i>	<i>Copper sodium silicate</i>
6	Konversi	50%	99%	> 99%
7	Jenis Reaktor	Batch/CSTR	<i>Autoclave</i>	<i>Fixed bed Multitibular</i>
8	Bahan Baku	Furfural dan Sodium hidroksida	Furfural dan Hidrogen	Furfural dan Hidrogen
9	Produk Samping	Asam Fural	<i>Methyl furan</i> dan polimernya	-

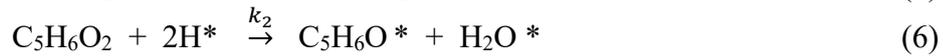
Berdasarkan perbandingan proses tersebut, maka dipilihlah proses pembuatan furfuril alkohon dengan metode Hidrogenasi Furfural Fase Uap dari furfural dan hidrogen dalam perancangan karena nilai kemurnian dari furfuril alkohol yang lebih baik. Hidrogenasi furfural fase uap juga tidak menghasilkan produk samping yang mengharuskan untuk melakukan proses pemurnian produk lebih lanjut yang akan membuat biaya operasi menjadi semakin mahal.

I.3. Tinjauan Kinetika Reaksi dan Termodinamika

1. Tinjauan kinetika reaksi

Kecepatan reaksi kimia, tekanan, konsentrasi, dan suhu adalah faktor dalam kinetika reaksi, yang berdampak pada konstanta kecepatan reaksi dan kecepatan reaksi.

Reaksi :



(Srivastava, 2015).

Maka konstanta reaksi dapat dihitung menggunakan rumus :

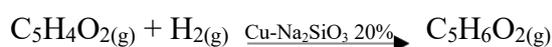
$$-r_a = -\frac{1}{V} \frac{dN_A}{dt} = kC_A, \left[\frac{\text{mols reacted}}{\text{m}^3 \text{ voids} \cdot \text{s}} \right]$$

(Levenspiel, 1999)

Berdasarkan data konversi furfural dari rumus $-\ln(1-X_a)$ versus waktu reaksi yang dapat dibuat pada suhu berbeda diamati bahwa reaksi mengikuti kinetika orde pertama. Sehingga diperoleh nilai K untuk temperatur 170 °C adalah 0,045/menit (S. Srivastava et al. 2015).

2. Tinjauan termodinamika

a. Menghitung ΔH



P=1 atm

T=170°C

$$\Delta H_f^\circ \text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2 = -151,04 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$\Delta H_f^\circ \text{H}_2 = 0 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$\Delta H_f^\circ \text{C}_5\text{H}_6\text{O}_2 = -218,9 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

(Yaws,1999)

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

$$\Delta H_r^\circ = \Delta H_f^\circ \text{C}_5\text{H}_6\text{O}_2 - \Delta H_f^\circ (\text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2 + \text{H}_2)$$

$$= -218,9 - (-151,04)$$

$$= -67,86 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$= -16234,449 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

Reaksi eksotermis terjadi ketika harga ΔH negatif, sehingga reaksi harus didinginkan untuk mempertahankan kondisi proses.

b. Menghitung ΔG

$$\Delta G_f^\circ \text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2 = -102,87 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$\Delta G_f^\circ \text{H}_2 = 0 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$\Delta G_f^\circ \text{C}_5\text{H}_6\text{O}_2 = -154 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

(Yaws,1999)

$$\Delta G_r^\circ = \Delta G_f^\circ \text{C}_5\text{H}_6\text{O}_2 - \Delta G_f^\circ (\text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2 + \text{H}_2)$$

$$= -154 - (-102,87)$$

$$= -51,13 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

Karena harga ΔG bernilai negatif, maka reaksi berlangsung secara spontan.

$$\Delta G_r^\circ = -RT \cdot \ln K$$

$$\Delta G_r^\circ = -279,73 - (8,314 \times 10^{-3} \times 298,15)$$

$$\ln K = \frac{-229,73}{2,23788} = 112,8489 \frac{\text{kcal}}{\text{gmol}}$$

$$K_{298} = 1,0225 \times 10^{20}$$

$$\text{Pada } T_2 = 170443,15 \text{ K}$$

$$\begin{aligned} \frac{\ln K_2}{\ln K_1} &= \frac{-Gr}{-RT} \left[\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right] \\ \frac{-279,73}{8,314 \times 10^{-3}} &= \left[\frac{1}{443,15} - \frac{1}{298,15} \right] \\ \frac{\ln K_{443}}{\ln K_{298}} &= [-0,0336][-0,0011] = 3,6294 \times 10^{-5} \\ \frac{K_{443}}{K_{298}} &= 1,00003692 \\ K_{443} &= 1,00003692 \times 1,6225 \times 10^{20} \\ &= 1,62258 \times 10^{20} \end{aligned}$$

Karena harga K bernilai lebih dari 0, maka reaksi berlangsung secara *irreversible*.

I.4. Kegunaan Produk

Secara umum furfural alkohol ($C_5H_6O_2$) dapat digunakan untuk beberapa hal sebagai berikut:

1. Karena reaktifitasnya yang tinggi dan viskositas rendahnya, furfural alkohol digunakan sebagai zat perekat (*binder*) yang baik dalam industri pengecoran logam, tekstil, dan perekat.
2. Karena ketahanannya yang tinggi terhadap korosi jika dicampur dengan serat gelas atau bahan penguat lainnya, furfural alkohol dapat digunakan dalam industri pemipaan dan pembuatan tangki.
3. Furfural alkohol juga digunakan sebagai pelarut untuk resin fenolis, zat warna, dan zat perekat.
4. Furfural alkohol yang dapat digunakan sebagai pelarut untuk ester selulosa, etil selulosa, dan vinil asetat adalah bahan *intermediate* dalam pembuatan *tetrahydrofurfuryl alcohol*.

I.5. Kapasitas Perancangan

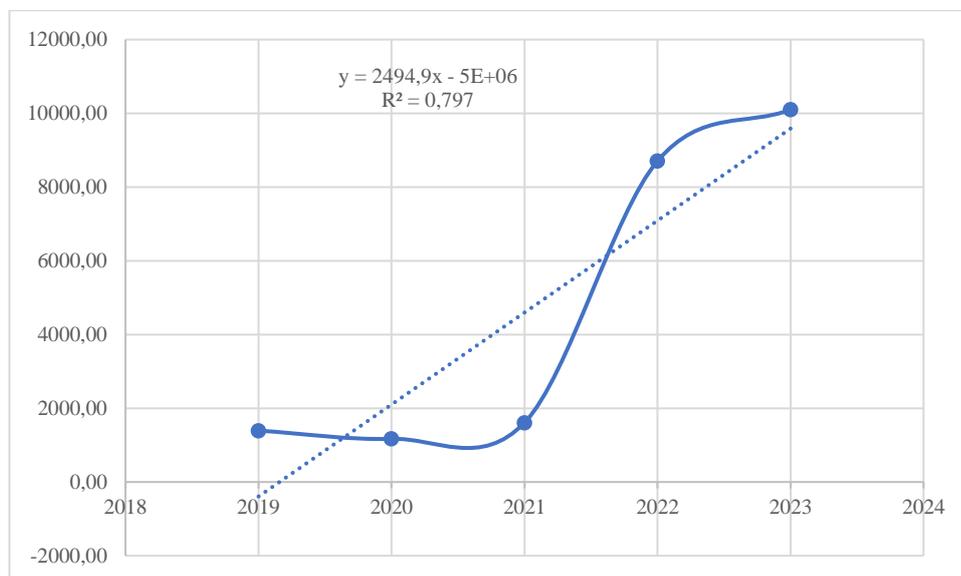
I.5.1 Data Impor

Kebutuhan furfural alkohol di Indonesia rata-rata meningkat setiap tahun, dan kebutuhan ini masih dipenuhi oleh negara lain, dan kemungkinan besar akan terus meningkat.

Tabel I.2. Data Impor Furfural Alkohol

Tahun	Impor (Ton/Tahun)
2019	1394.02
2020	1171.03
2021	1611.06
2022	8707.92
2023	10100.30

Berdasarkan data impor diatas, diperoleh grafik dan persamaan garis dari data impor furfural alkohol di Indonesia, sebagai berikut:



Gambar I.1. Grafik Impor Kebutuhan Furfural Alkohol di Indonesia

Perkiraan impor furfural alkohol di Indonesia pada tahun mendatang ditentukan dengan menggunakan persamaan $y = 2376,3x - 5E+06$, dimana nilai x sebagai tahun dan y sebagai jumlah besaran impor furfural alkohol. Berdasarkan

pada persamaan tersebut, diperkirakan pada tahun 2030 kebutuhan impor furfural alkohol sebanyak :

$$Y = 2494,9x - 5E+06$$

$$Y = 2494,9 (2030) - 5E+06$$

$$Y = 64.647 \text{ ton/tahun}$$

I.5.2 Kapasitas Pabrik yang Sudah Berdiri

Penentuan kapasitas pabrik yang akan berdiri salah satunya dipengaruhi oleh kapasitas pabrik furfural alkohol yang sudah beroperasi. Produksi furfural alkohol di dunia dapat dilihat pada Tabel 1.3.

Tabel I.3. Daftar Nama Perusahaan Furfural Alkohol di Luar Negeri

No	Nama	Lokasi	Kapasitas (Ton/Tahun)
1	Hongye Chemical Co., Ltd.	China	80.000
2	Henan Harvest International Co., Ltd.	China	15.000
3	Transfurans Chemical	Belgium	40.000
4	Hebei Furan International Co., Ltd.	China	20.000
5	Indorama Chemical Co., Ltd.	Thailand	17.945

I.6. Pemilihan Lokasi Pabrik

Dalam melakukan pemilihan lokasi pabrik dibutuhkan pertimbangan yang baik dari segi ekonomi maupun teknis, hal ini akan sangat berpengaruh dalam keberlangsungan pembangunan dan beroperasinya pabrik dalam waktu yang lama. Berdasarkan pada pertimbangan tertentu, pabrik furfural alkohol dengan kapasitas 65.000 ton/tahun direncanakan akan di dirikan di Kawasan Industri Cilegon, Banten.

Pemilihan lokasi ini berdasarkan pada beberapa faktor, diantaranya :

1. Pasokan Bahan Baku

Produksi furfural alkohol menggunakan bahan baku utama dan pelarut.

a. Bahan baku utama :

a) Furfural

Bahan baku ini diperoleh dari *Supplier* PT. Sree International yang berada di Jakarta Selatan.

b) Hidrogen

Hidrogen diperoleh dari PT. Air Liquide Indonesia, Cilegon yang telah membangun stasiun hidrogen di dekat area pabrik yang dialirkan dengan cara *piping*.

b. Bahan pendukung

a) *Copper Sodium Silicate*

Copper Sodium Silicate diperoleh dari PT. Petrokimia Gresik.

2. Pemasaran Produk

Pabrik alkohol furfural ini dibangun untuk memenuhi permintaan domestik dan impor dari berbagai negara. Furfural alkohol adalah pelarut yang umum digunakan dalam industri perekat, pengecoran logam, dan tekstil. Karena berada di kawasan industri dan memiliki akses dekat ke pabrik, Cilegon dan sekitarnya adalah lokasi yang sangat strategis untuk distribusi produk. Letak pabrik dekat pelabuhan akan memudahkan distribusi produk skala besar, sedang, dan kecil.

3. Ketersediaan Tenaga Kerja.

Tenaga kerja adalah bagian penting dari pembentukan pabrik. Tenaga kerja yang terampil dan potensial dapat diperoleh dari lulusan perguruan tinggi, baik di Indonesia maupun di luar negeri, serta dari tenaga kerja yang sudah memiliki pengalaman di bidang tersebut. Adapun untuk operato ke bawah, dapat diperoleh dari lingkungan sekitar.

4. Ketersediaan Lahan

Hal ini terkait dengan keefektifan proses produksi pabrik karena lahan yang dipilih tidak jauh dari permukiman warga dan dekat dengan sumber air.

5. Infrastruktur

Lokasi pabrik yang harus mudah dijangkau sehingga nyaman untuk distribusi bahan baku dan produk, serta kelancaran transportasi. Pembangunan di Indonesia yang semakin berkembang dengan tersedianya jalan raya antar provinsi dan jalan tol yang cukup, maka pengiriman barang atau produk dari pabrik tidaklah sulit.

6. Perluasan Area

Penentuan area pabrik di kawasan industri Cilegon, Jawa Barat. Pemilihan lokasi ini agar saat perluasan area pabrik tidak mengganggu kawasan permukiman.

7. Perizinan

Lokasi pabrik berada di kawasan industri, sehingga lebih mudah untuk mendapatkan izin pendirian pabrik. Pengaturan tata letak pabrik adalah bagian terpenting dari proses pengaturan pabrik. Adapun hal – hal yang perlu dipertimbangkan, yaitu :

- a. Penggunaan lahan yang efisien
- b. Transportasi yang efektif
- c. Aspek keselamatan kerja
- d. Pengoperasian, pengendalian, pemindahan atau perbaikan peralatan

8. Sarana dan Fasilitas Sosial

Infrastruktur dan fasilitas sosial harus ada peningkatan kesejahteraan dan taraf hidup.