

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik**

Dunia industri kini memasuki era Revolusi Industri 4.0, dimana perkembangannya sudah sangat pesat. Dengan itu, pemerintah Indonesia terus berupaya menciptakan kondisi yang mendukung pertumbuhan industri, khususnya industri kimia. Pengembangan industri kimia ditekankan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, memanfaatkan sumber daya alam yang ada, menciptakan lapangan kerja, mendorong pengembangan industri lain, dan ekspor ke negara lain. Salah satu pengembangan industri yang dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri adalah industri pembuatan furfural.

Furfural adalah senyawa organik dengan rumus molekul  $C_5H_4O_2$  dan sering disebut sebagai 2-furankarboksaldehida, furaldehida, furanaldehida, dan 2-furfuraldehida. Senyawa ini memiliki fase cair berwarna kuning hingga coklat dan titik didih  $161,70\text{ }^\circ\text{C}$ . Furfural adalah senyawa yang sukar larut dalam air, tetapi larut dalam alkohol, eter, dan benzena. Furfural memiliki aplikasi yang luas di beberapa industri dan juga dapat disintesis menjadi turunannya. Aplikasi furfural meliputi pelarut dalam industri perminyakan, bahan pembantu dalam industri cat, pernis, plastik, serat sintetis, dan bahan pembantu dalam industri farmasi danherbisida.

Furfural adalah senyawa organik dengan rumus kimia  $C_5H_4O_2$  atau sering disebut 2-furankarboksaldehida, furanaldehida, 2-furfuraldehida, atau furaldehida, yang berasal dari golongan furan. Furfural adalah senyawa yang sedikit larut dalam air tetapi larut dalam alkohol, eter, dan benzena. Furfural memiliki berbagai kegunaan, terutama dalam sintesis turunannya. Secara global, hanya 13% yang menggunakan furfural secara langsung dalam aplikasi, sisanya disintesis menjadi turunannya. Furfural dihasilkan dari biomassa melalui dua langkah reaksi hidrolisis dan dehidrasi. Katalis asam seperti asam sulfat, asam nitrat biasanya digunakan

untuk tujuan ini. Secara komersial, produksi furfural dapat dilakukan dalam siklus batch atau kontinyu (Andaka, 2011).

Furfural domestik saat ini dikonsumsi dalam beberapa mode konsumsi, yang dapat dibagi menjadi dua bagian:

- 82% pangsa industri pelumas.
- Konsumsi lainnya, terutama dikonsumsi oleh karet sintetis, mencapai 18%.

Selama ini furfural belum diproduksi di Indonesia dan kebutuhan dalam negeri dipenuhi dengan impor dari Amerika Serikat, Prancis, Argentina, Italia, Spanyol, Hungaria, dan China (Sugiarta, 2009).

Bahan utama yang digunakan untuk membuat furfural adalah pentosan, yang biasanya terdapat pada zat berserat. Pentosan banyak ditemukan pada limbah pertanian seperti tongkol jagung, sekam padi, ampas tebu dan serbuk gergaji.

Tongkol jagung adalah salah satu limbah pertanian yang mengandung pentosan. Mengingat Indonesia merupakan negara agraris dengan hasil pertanian yang melimpah, bahan baku tongkol jagung sudah tersedia di Indonesia. Industri furfural dapat meningkatkan pendapatan petani karena memberikan nilai pada produk samping dari pengolahan pertanian.

Tongkol jagung merupakan bahan yang kaya akan komponen lignoselulosa sehingga dapat menjadi produk limbah untuk produksi furfural. Peningkatan volume sampah lebih lanjut belum dikompensasi oleh kemajuan teknologi dalam daur ulang. Alternatifnya adalah pendirian pabrik furfural. Hal ini diharapkan dapat meningkatkan perekonomian dan perdagangan valuta asing serta mengatasi dampak lingkungan dari limbah industri pertanian.

Permintaan furfural meningkat dari tahun ke tahun, dan Indonesia masih mengimpornya dari luar negeri. Berdasarkan data BPS (Badan Pusat Statistik), impor furfural di Indonesia dari tahun 2014 hingga 2017 berkisar antara 281 hingga 950 kg per tahun (Vitaloka & Sari, 2014).

Dengan mempertimbangkan beberapa faktor seperti bahan baku, sumber listrik dan bahan bakar, pasokan air, transportasi dan tenaga kerja, lokasi industri kimia furfural dipilih di daerah kawasan industri Ungaran, Jawa Tengah.

## I.2 Penentuan Kapasitas Pabrik

### I.2.1 Data Ekspor Impor

Menurut data Badan Pusat Statistik, jumlah Furfural yang diimpor ke Indonesia dari tahun 2017 sampai 2021 kami sajikan dalam tabel berikut ini:

Tabel I. 1 Data Impor Furfural Di Indonesia

No	Tahun	Kapasitas (Ton/Tahun)
1.	2017	1.170,458
2.	2018	1.704,814
3.	2019	1.204,604
4.	2020	629,068
5.	2021	1.086,811

(Badan Pusat Statistik 2022)

Dari tabel diatas konsumsi furfural di Indonesia diperkirakan akan terus meningkat. Proyeksi pertumbuhan tersebut didasari semakin membaiknya perekonomian nasional dan peningkatan daya beli masyarakat, serta pertambahan jumlah penduduk. Peningkatan konsumsi furfural didasarkan atas perkembangan industri pemakainya yang mengalami perkembangan cukup pesat. Disamping masih tingginya minat investasi pada sektor industri, industri pemakai yang ada juga aktif melakukan perluasan pabrik. Pabrik yang didirikan ini diharapkan dapat memenuhi kebutuhan furfural dalam industri di Indonesia. Prediksi kapasitas pabrik diambil berdasarkan data statistik yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) perihal data kebutuhan furfural di Indonesia.

Dasar perhitungan kapasitas produksi dengan rumus sebagai berikut:

$$P_t = P_o (1 + r)^n$$

Dimana:

$P_t$  = jumlah produksi pada tahun perencanaan (tahun 2026)

$P_o$  = jumlah produksi pada tahun terakhir (tahun 2021)

$r$  = rata-rata pertumbuhan produksi

$n$  = selisih waktu (tahun 2017-2026)

Dari data diketahui :

$$Po (2021) = 1.086,811 \text{ ton}$$

$$r = 0,1033$$

$$n (2017-2026) = 9$$

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} Pt (2026) &= Po (1 + r)^n \\ &= 1.086,811 \text{ ton} (1 + 0,1033)^9 \\ &= 2.632,671 \text{ ton/ tahun.} \end{aligned}$$

### I.2.2 Kapasitas Pabrik yang Sudah Berdiri

Data pabrik furfural yang sudah didirikan di dunia beserta kapasitas produksi furfural kami sajikan pada Tabel 1.2 (Mc.Ketta, 1986)

Tabel I.2 Produksi Furfural Dunia

Negara	Produsen	Kapasitas (ton/tahun)
USA	<i>Quaker Oats</i>	160.000
USA	<i>International Petro-Chem</i>	160.000
USA	<i>Shouth Puerto Rico Sugar Co.</i>	160.000
Dominican Republic	<i>Central Comana By-Products Co.</i>	40.000
Prancis	<i>Societe Agrifurane</i>	9.000
Prancis	<i>Societe Sicamie</i>	9.000
Finland	<i>Rosenlew</i>	1000
USSR	-	16.000
Argentina	<i>Indunors A</i>	1.500
Italy	<i>Societe Italina Ledoga Sp. A</i>	10.000
Japan	<i>Sumitomo Chemical Co.</i>	12.000
Japan	<i>Japan-Kao Soap Co.</i>	12.000
China	-	12.000
Spain	<i>Furano Hispana Alemana</i>	9.000
Spain	<i>Furfural Espano</i>	9.000
Hungary	<i>Escher Wyss</i>	2.000
<i>Others</i>	-	28.000

Berdasarkan perhitungan dari data ekspor dan impor serta data produk furfural di dunia diatas, maka pabrik dirancang dengan kapasitas 10.000 ton/tahun. Produksi tersebut direncanakan untuk memenuhi kebutuhan pasar dalam negeri dan kelebihan produksinya akan diproyeksikan untuk ekspor.

### **I.3 Pemilihan Lokasi Pabrik**

Lokasi pabrik memiliki dampak yang besar terhadap kelangsungan operasi. Oleh karena itu, sebelum membangun pabrik, perlu dilakukan studi kelayakan dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang mendukung keberlangsungan pabrik. Faktor yang perlu dipertimbangkan adalah:

1. Persiapan bahan baku

Lokasi pabrik dipilih dekat dengan sumber bahan baku tongkol jagung untuk mengurangi biaya pengiriman dan kehilangan bahan baku dalam perjalanan. Bahan baku tongkol jagung berasal dari hasil pertanian petani di wilayah Jawa tengah dan jawa timur.

2. Penyediaan listrik dan bahan bakar

Pasokan listrik dan bahan bakar di kawasan industri ungaran cukup memadai mengingat kawasan industri ungaran merupakan daerah yang menjanjikan untuk pengembangan industri dan banyak industri didirikan, kebutuhan listrik dan bahan bakar tidak menjadi masalah. Transportasi darat dan laut cukup untuk memfasilitasi transportasi bahan baku dan produk.

3. Pasokan air

Air yang cukup tersedia untuk kebutuhan produksi didapatkan di daerah kawasan industri ungaran.

4. Transportasi

Transportasi laut dan darat cukup untuk memfasilitasi transportasi bahan baku dan produk.

5. Tenaga kerja

Karena tenaga kerja tersebar luas di wilayah Jawa, pendirian pabrik Furfural akan menyerap tenaga kerja dan mendukung program pemerintah untuk mengurangi pengangguran.

## I.4 Tinjauan Pustaka

### I.4.1 Mekanisme Reaksi

Menurut (Arnold & Buzzard, 2003), reaksi pembentukan furfural adalah :



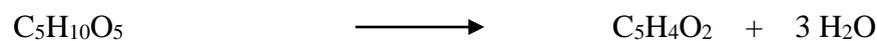
1. Proses hidrolisa pentosan menjadi pentosa



Pentosan

Pentosa

2. Proses dehidrasi pentosa menjadi furfural



Pentosa

Furfural

### I.4.2 Pemilihan Proses

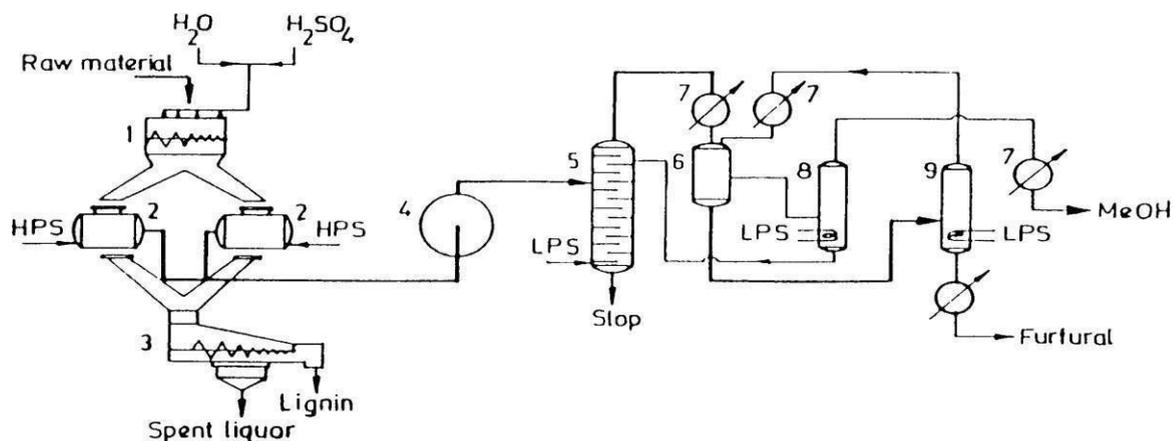
Untuk memilih proses yang akan digunakan maka kita harus mengetahui macam-macam proses dalam pembuatan furfural. Berikut ini ada beberapa proses pembuatan furfural secara komersial:

#### a. Proses *Quaker Oats*

Pada pembuatan furfural dengan cara *Quaker Oats* menggunakan asam sulfat sebagai katalis. Larutan asam sulfat diserap ke dalam sekam padi, *baggase*, tongkol jagung atau bahan baku lainnya. Dalam hal ini digunakan *spherical digester* dengan putaran horisontal dan *high pressure steam* untuk mendapatkan suhu 153 °C dan tekanan 5,0853 atm. Sesudah suhu dan tekanan digester tercapai, *valve* uap dibuka sehingga *distilat* yang mengandung campuran steam dan furfural dapat dipisahkan. Uapnya dilewatkan boiler dan diumpankan ke *stripping column*, kemudian

dikondensasi dan dipisahkan menjadi dua lapisan. Lapisan atas mengandung air, sedikit furfural dan sejumlah uap (metanol dan aseton) yang dipisahkan menjadi produk samping. Lapisan bawah mengandung furfural dihilangkan kandungan airnya, dan ditampung di *furfural receiver* sebagai produk.

Inputnya adalah 4500 lb oat hull dengan kelembaban 6%, 4230 lb padatan kering, 270 lb air, 100 lb H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 95% dilarutkan dalam 1200 lb air, 95 lb dari H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 1205 lb air. Diperoleh nilai nilai yield furfural 49,143%, nilai  $k_1$  adalah 0,02357 min<sup>-1</sup> dan nilai waktu tinggal 3,256 jam ( Zeitsch, 2000 ). Keseluruhan Proses Quaker Oats diilustrasikan pada Gambar 1.1

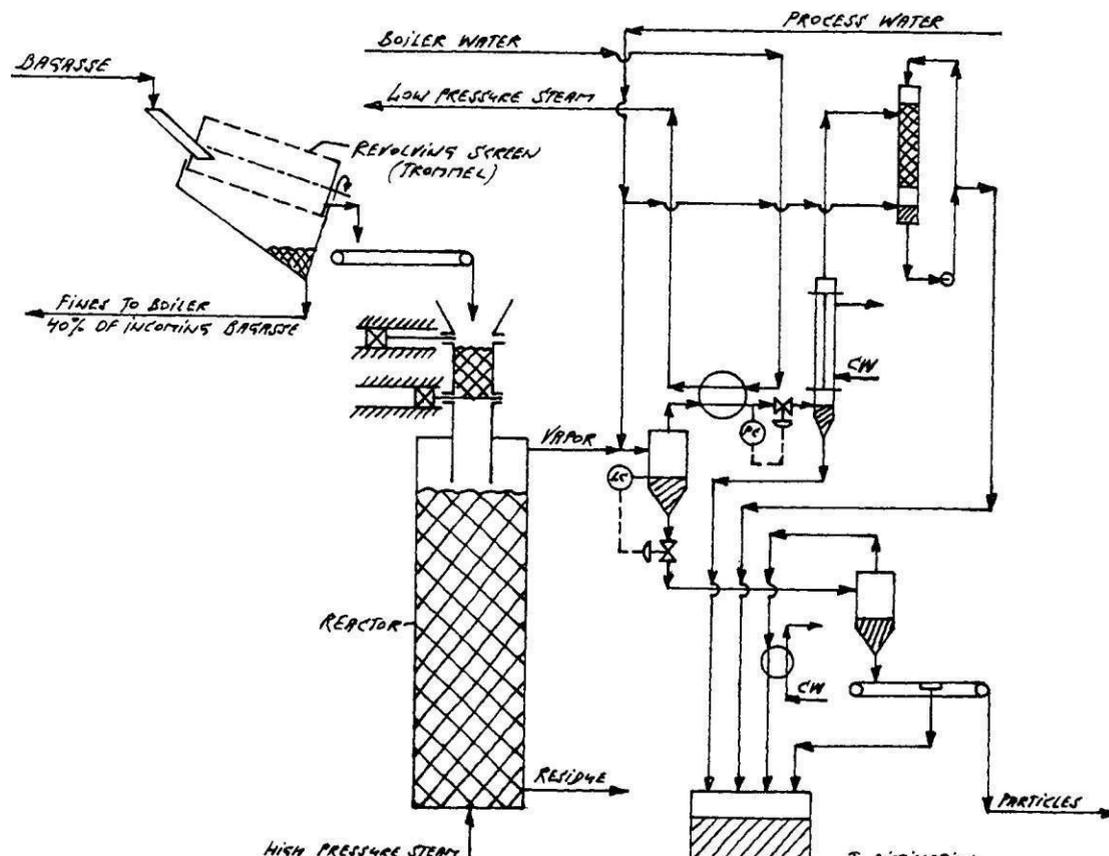


Gambar I. 1 Diagram Proses Quaker Oats

#### b. Proses Rosenlew

Bahan baku diayak di layar berputar, biasa disebut "*trommels*". Biasanya 40 persen dari ampas tebu yang masuk harus ditolak di mesin ini. Fraksi kasar yang tersisa masuk ke reaktor bagian atas, residu dikeluarkan secara berkala ke bagian bawah reaktor. Secara bersamaan, steam 10 bar diumpankan dari dasar, mengalir ke atas, bereaksi dengan bahan baku, mengambil produk reaksi yang mudah menguap, dan keluar dari atas. Dengan bahan baku bergerak ke bawah dan uap mengalir ke atas, ini adalah arus balik modus operasi.

Proses Rosenlew biasanya menggunakan bahan ampas tebu, uraian proses diilustrasikan secara skematis pada Gambar 1.2



Gambar I. 2 Diagram Proses Rosenlew

Reaktor yang digunakan pada proses ini memiliki diameter 2,5 m dengan tinggi 12 m. Suhu operasi 180 °C dengan tekanan 9,88684 atm. Setelah penyaringan ampas tebu memiliki kadar air 49,1% dengan kandungan pentosan 25,3% berupa padatan kering.

Inputnya adalah padatan kering 3200 kg/jam, air 3090 kg/jam dan pentosan 809 kg/jam. Diperoleh produk furfural dalam uap 350,01 kg/jam dan Yield sebesar 59,5% ( Zeitsch, 2000 ).

### c. Proses *Petrole Chimie*

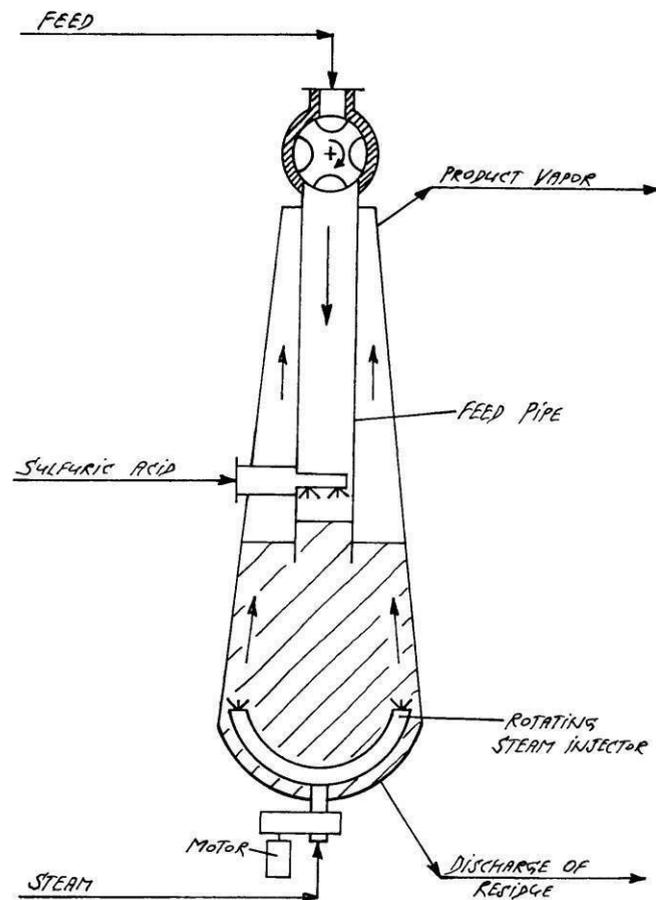
Proses ini didasarkan pada proses *Agrifurane*. Bahan baku diumpankan ke dalam reaktor bersama – sama dengan air dan juga asam fosfat ( $H_3PO_4$ ) sebagai katalis kemudian ditambahkan *steam*. Pada keadaan normal, perbandingan padatan dan cairan adalah 1 : 6. *Steam* yang digunakan bertekanan 9,5 kg/cm<sup>2</sup>. Reaksi padatcair terjadi pada tekanan 6,5 kg/cm<sup>2</sup>. Seperti sistem lain, furfural didistilasi

membentuk azeotrop kemudian didekantasi agar terpisah menjadi dua lapisan. Lapisan bawah yang kaya akan furfural ( $C_5H_4O_2$ ) dinetralisasi dan didehidrasi menjadi furfural teknik. Waktu tinggal normal selama hidrolisa dan *stripping* sekitar 180 menit dengan kebutuhan *steam* 19 – 20 kg/kg produk furfural ( $C_5H_4O_2$ ). Pada proses ini, total kebutuhan *steam* sebesar 25,5 kg/kg produk furfural ( $C_5H_4O_2$ ).

*d. Proses Escher Wyss*

Dalam proses *Escher wyss* ini setelah bahan baku melewati *rotary feeder*, bahan baku berupa padatan jatuh melalui sebuah pipa pusat, dimana disemprotkan dengan asam sulfat berair. Di bagian bawah reaktor, steam keluar dari putaran distributor mempertahankan bahan baku dalam keadaan suspensi ("*fluid bed*") saat membawa keluar hidrolisis dan reaksi dehidrasi yang diinginkan. Tingkat unggun fluida diukur oleh sinar gamma, dipertahankan oleh katup pelepasan yang dikendalikan oleh sinyal sinar gamma. Katalis yang digunakan adalah asam sulfat ( $H_2SO_4$ ). Suhu yang digunakan 170 °C dan waktu tinggal rata-rata adalah 45 menit.

Proses *Escher Wyss* diilustrasikan pada Gambar 1.3

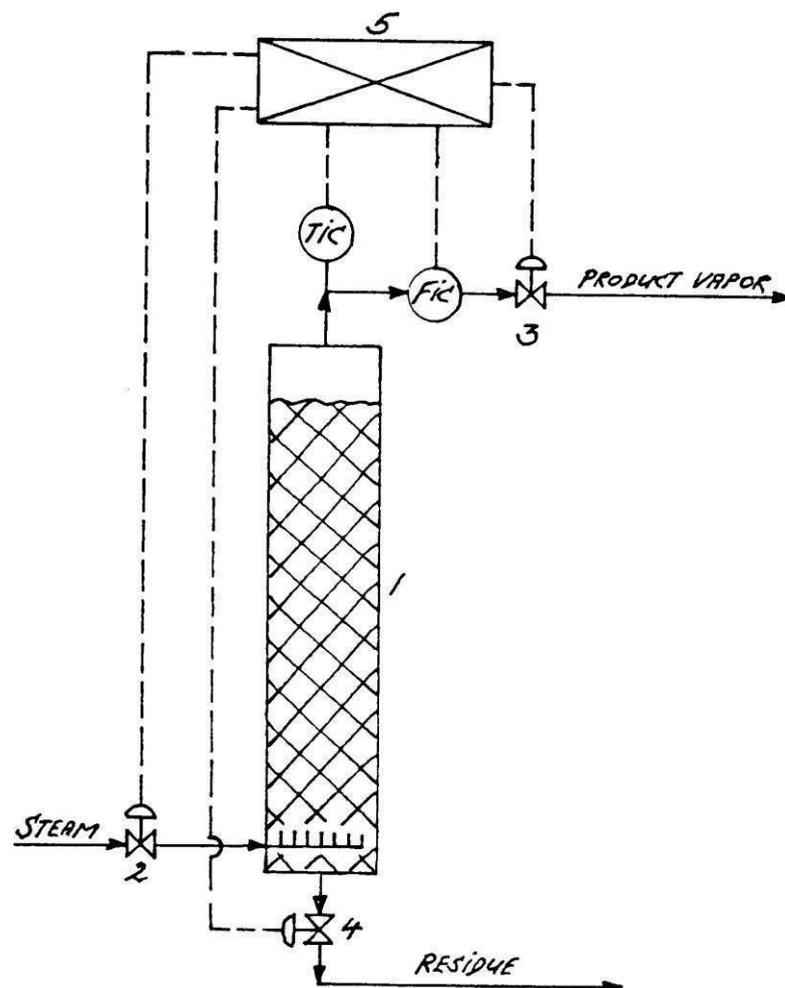


Gambar I. 3 Proses Escher Wyss

#### e. Proses *Supra Yield*

Proses *Supra Yield* dikemukakan oleh Arnold & Buzzard (2003), untuk mengatasi masalah dalam hal penghematan energi, penurunan *yield* reaksi, kemurnian produk dan pengeluaran produk furfural dengan menggunakan *steam* dan produk tidak diikuti produk samping. Dalam proses ini, reaksi berlangsung pada tekanan 18 atm dan suhu 210 °C, katalis yang digunakan adalah asamphosphat sebanyak 2%. Diperoleh waktu tinggal 60 menit dengan *yield* 80%. Reaktor diisi dengan bahan baku, raktor dipanaskan hingga mencapai suhu operasi dengan memasukkan *steam* melalui valve nomor 2 sementara *valve* nomor 3 dan 4ditutup. Kemudian, *valve* pemasukan *steam* atau *valve* nomor 2 ditutup dan *valve* nomor 3 dibuka sehingga menghasilkan produk atas berupa uap. Jika pada akhir

periode ini tidak ada lagi furfural diperoleh, alve nomor 4 dibuka untuk mengeluarkan residu. Semua operasi katup diatur oleh unit kontrol otomatis 5. Skema proses *suprayield* ditunjukkan pada Gambar 1.4



Gambar I. 4 Skema Proses Suprayield

Dari kelima proses tersebut dapat dibandingkan macam – macam proses pembuatan furfural dan ditampilkan dalam Tabel 1.3

Tabel I.3 Perbandingan Macam-macam Proses Pembuatan Furfural

Keterangan	Macam- macam Proses				
	<i>Quaker Oats</i>	<i>Rosenlew</i>	<i>Petrole Chimie</i>	<i>Escher Wyss</i>	<i>Suprayield</i>
Proses	Batch	Kontinyu	Batch	Kontinyu	Batch
Suhu	153 °C	180 °C	-	170 °C	210 °C
Tekanan	5,0853 atm	9,88684 atm	6,5 kg/cm <sup>2</sup>	-	18 bar
Katalis	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	-	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
Yield	49,143%	59,5%	-	-	80%
Nilai k <sub>1</sub>	0,02357 min <sup>-1</sup>	-	-	-	$9,306 \times 10^{15} C_H C_{pe} e^{-\frac{16894}{T}}$
Waktu tinggal	195,383 menit	120 menit	180 menit	45 menit	60 menit

Dari bermacam-macam proses furfural seperti yang telah diuraikan diatas, maka dipilih proses *Supra Yield* dengan alasan, Yield furfural dari pentosan tinggi, Waktu tinggal cepat.

### I.4.3 Tinjauan Kinetika

Menurut (Arnold & Buzzard, 2003), reaksi pembentukan furfural adalah :



3. Proses hidrolisa pentosan menjadi pentosa



Pentosan

Pentosa

4. Proses dehidrasi pentosa menjadi furfural



Pentosa

Furfural

Memberikan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{dC_{pe}}{dt} = k_0 C_{pn} - k_1 C_{pe}$$

Harga yang didapatkan pada proses pembuatan furfural:

$$k_0 = 7,832 \times 10^4 C_H e^{-\frac{5163}{T}}$$

$$k_1 = 9,306 \times 10^{15} C_H C_{pe} e^{-\frac{16894}{T}}$$

Dimana :

$C_{pe}$  adalah konsentrasi pentosa (g/L),

$C_{pn}$  adalah konsentrasi pentosan (g/L),

$k_0$  adalah konstanta laju untuk pembentukan pentosa.

$k_1$  adalah konstanta laju untuk pembentukan furfural.

$C_H$  adalah konsentrasi ion hidrogen (g/L) pada 20 °C.

#### I.4.4 Tinjauan Termodinamika

tinjauan termodinamika dilakukan untuk menentukan apakah reaksi tersebut eksoterm atau endoterm. Ini dapat dilakukan dengan menghitung entalpi reaksi menggunakan rumus:

$$\Delta H_{reaksi} = \sum(n \cdot \Delta H_f) \text{ produk} - \sum(n \cdot \Delta H_f) \text{ reaktan}$$

Apabia  $\Delta H_{reaksi} < 0$  maka reaksi bersifat eksotermik dan memerlukan pendinginan.

Jika  $\Delta H_{reaksi} > 0$ , maka reaksi bersifat endoterm dan memerlukan pemanasan (Carl L. Yaws, 1999).

Data  $\Delta H_f$  untuk setiap senyawa adalah :

$$\Delta H_f \text{H}_2\text{O} = -241816892,086 \text{ J/kmol}$$

$$\Delta H_f \text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2 = -151001056,668 \text{ J/kmol}$$

$$\Delta H_f \text{C}_5\text{H}_8\text{O}_4 = -841881341,840 \text{ J/kmol}$$

$$\Delta H_f \text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5 = -896016639,980 \text{ J/kmol}$$

Maka didapat nilai  $\Delta H_r$  sebagai berikut:

Reaksi 1:

$$\begin{aligned} \Delta H_{298} &= \Delta H_f \text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5 - (\Delta H_f \text{C}_5\text{H}_8\text{O}_4 + \Delta H_f \text{H}_2\text{O}) \\ &= -896016639,980 \text{ J/kmol} - (-841881341,840 \text{ J/kmol} + (-241816892,086 \\ &\quad \text{J/kmol})) \\ &= 187681593,946 \text{ J/kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H_{298} &= (\Delta H_f \text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2 + \Delta H_f \text{H}_2\text{O}) - \Delta H_f \text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5 \\ &= (-151001056,668 \text{ J/kmol} + (3 \times (-241816892,086 \text{ J/kmol})) - \\ &\quad (-896016639,980 \text{ J/kmol})) \\ &= 19564907,054 \text{ J/kmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H_{298} &= 187681593,946 \text{ J/kmol} + 19564907,054 \text{ J/kmol} \\ &= \end{aligned}$$

2072465

01

J/kmol

Fma,

reaksi = 13,010

$\Delta H_r = \Delta H_{298} \times \text{Fma, reaksi}$

$\Delta H_r = 207246501 \text{ J/kmol} \times 13,010$

$= 2696276978 \text{ J/kmol}$

Karena nilai  $\Delta H_r$  adalah positif, maka reaksi berjalan endotermis.