

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik

Agroindustri di Indonesia merupakan industri yang mempunyai peranan yang sangat penting dalam perindustrian nasional. Melihat kondisi Indonesia yang masih terdapat banyak sawah perlu adanya kegiatan setelah panen dan pengolahan hasil pertanian, pemanfaatan produk samping dan sisa pengolahannya masih kurang. Satu diantara limbah hasil pertanian yaitu sekam padi. Oleh karenanya membuat suatu produk dari bahan baku sekam padi menjadi produk yang bernilai ekonomi tinggi yaitu menjadi furfural. Karena sekam padi mengandung pentosan yang banyak manfaatnya.

Furfural memiliki berbagai manfaat yang cukup luas di beberapa industri. Kegunaan furfural antara lain sebagai *selective solvent* untuk pemurnian minyak pelumas pada industri pengolahan minyak bumi serta pemurnian butadiena. Turunan furfural dapat disintesis dari furfural antara lain furfural alkohol dan furan. Furfural alkohol umumnya dapat digunakan dalam industri untuk pembuatan serat sintesis dan mensintesis senyawa yang dipakai dalam pelapis, cat, dan beberapa industri farmasi. Furan saat ini menjadi bahan baku yang digunakan dalam industri farmasi, dalam produksi serat sintesis dan herbisida, dan dalam sintesis pelarut di industri PVC (Wijarnako, dkk. 2006).

Pabrik furfural dapat didirikan di Indonesia karena pertimbangan banyak aspek antara lain dapat memenuhi kebutuhan furfural nasional, furfural pada industri kimia dapat digunakan untuk pabrik cat, pabrik karet dan industri farmasi. Beragam pengaplikasian furfural diantaranya sebagai pelarut, sebagai bahan bakar transportasi, aditif bensin, pelumas, resin dan zat penghilang warna, sebagai perantara dalam sintesis obat-obatan, bahan kimia dan biopolymer, sebagai bahan campuran bahan bakar jet, sebagai fungisida dan nematisida, sebagai penambah rasa untuk makanan dan minuman serta residu furfural sebagai pembenah tanah dan pupuk organik. Meningkatnya kebutuhan furfural menjadi peluang yang sangat besar untuk segi ekonomi, mendirikan pabrik furfural mengurangi impor, memanfaatkan pengolahan hasil pertanian dan dapat menciptakan lapangan kerja

bagi masyarakat. Selama ini pasokan furfural Indonesia masih diimpor dari negara-negara Eropa seperti Amerika Serikat, Perancis, Finlandia, Argentina, Italia, Spanyol, Hungaria, Jepang, dan China. Diketahui, Thailand menjadi satunya negara di ASEAN yang memproduksi furfural (Kementerian Perdagangan, 2020).

Dengan mempertimbangkan faktor-faktor tersebut dan masih kurangnya pasokan furfural di Indonesia, perencanaan pabrik furfural di Indonesia merupakan sebuah ide yang perlu dikaji lebih lanjut sebagai investasi yang berpotensi menguntungkan di masa depan. Pada tabel I.1 menunjukkan kebutuhan Furfural 6 tahun terakhir hingga saat ini.

Tabel I.1 Kebutuhan Furfural Tahun 2017-2022

| Tahun | Jumlah Data Impor (Ton/Tahun) |
|--------------|--------------------------------------|
| 2017 | 1.170,4580 |
| 2018 | 1.704,8143 |
| 2019 | 1.204,6040 |
| 2020 | 629,0680 |
| 2021 | 1.086,8110 |
| 2022 | 2.392,7020 |

(Sumber : Badan Pusat Statistik, 2023)

I.2. Penentuan Kapasitas Perancangan

Kapasitas pabrik yang akan didirikan perlu memperhatikan faktor yang menjadi pertimbangan. Hasil produksi yaitu di atas kapasitas minimum atau menyamakan produksi pabrik yang telah ada, kebutuhan pasar, ketersediaan bahan baku, faktor teknis, ekonomi, finansial dan kapasitas maksimal juga menjadi faktor yang harus dipertimbangkan.

1.2.1. Data Ekspor Impor

Berdasarkan data Furfural pada Biro Pusat Statistik (BPS) diperoleh kebutuhan Indonesia akan Furfural dari tahun 2017 sampai dengan tahun 2022 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel I.2 Kebutuhan Impor Furfural di Indonesia

| Tahun | Jumlah Data Impor (Ton/Tahun) | Perkembangan rata-rata (i) |
|------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| 2017 | 1.170,4580 | |
| 2018 | 1.704,8143 | 0,45654 |
| 2019 | 1.204,6040 | 0,02917 |
| 2020 | 629,0680 | -0,4625 |
| 2021 | 1.086,8110 | -0,0715 |
| 2022 | 2.392,7020 | 1,0442 |
| Total | 8188,4573 | 0,9959 |
| Rata-rata | 1364,7429 | 0,1992 |

(Sumber : Badan Pusat Statistik, 2023)

Dari tabel dibuat pertumbuhan rata-rata untuk memperkirakan impor furfural pada tahun 2028, dapat dilihat pada I.1.

Rumus pertumbuhan rata-rata:

$$F = F_0(1+i)^n \quad (I.1)$$

Dimana:

F = Perkiraan kebutuhan furfural pada tahun 2028

F₀ = Kebutuhan furfural pada tahun terakhir (2022)

i = Perkembangan rata-rata ((Jumlah impor tahun yang ingin dihitung
nya – jumlah impor tahun ke-1) / Jumlah impor tahun ke-1)

n = Selisih waktu

$$\begin{aligned} F &= F_0(1+i)^n \\ &= 2392,7020(1+0,1992)^{2028-2022} \\ &= 7115,6323 \text{ Ton/Tahun} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan pertumbuhan rata-rata diatas kebutuhan furfural di Indonesia yaitu sebesar 7115,6323 ton/tahun pada tahun 2028 sedangkan dari gambar I.1 dapat dikatakan bahwa permintaan furfural sedang naik dan turun, namun kebutuhan impor masih relatif tinggi. Hal ini yang melatarbelakangi Indonesia masih bergantung pada negara lain, sehingga diharapkan dengan adanya perencanaan pendirian pabrik ini dengan kapasitas 10.000 ton/tahun bisa memenuhi kebutuhan furfural di dalam maupun impor ke luar negeri.

1.2.2. Kapasitas Pabrik yang Sudah Berdiri

Dalam memproduksi furfural semestinya diperhitungkan hasil yang akan menguntungkan di samping menentukan kapasitas pabrik, hal itu pun harus berdasarkan pada kapasitas pabrik yang telah beroperasi, baik di dalam maupun luar negeri, Berikut data kapasitas produksi pabrik yang telah beroperasi sebagaimana tersaji pada tabel I.3:

Tabel I.3. Produksi Furfural di 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>Siciete Agrifurane</i> | 9.000 |
| Prancis | <i>Societe Sicamie</i> | 9.000 |
| Finland | <i>Rosenlew</i> | 1.000 |
| USSR | - | 16.000 |
| Argentina | <i>Indumors 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 |

(Mc. Ketta., 1983)

Kapasitas pabrik yang akan didirikan harus setara atau lebih besar dari kapasitas pabrik yang ada (Meyers, 1960). Berdasarkan data kebutuhan domestik dan internasional, ketersediaan bahan baku, serta referensi kapasitas pabrik furfural yang ada, kapasitas pabrik yang akan didirikan adalah 10.000 ton/tahun. Kapasitas ini telah dihitung menggunakan rumus pertumbuhan rata-rata dan ditargetkan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri sebesar 7.500 ton/tahun dan ekspor sebesar 2.500 ton/tahun.

I.3. Pemilihan Lokasi

Dalam Pemilihan lokasi suatu pabrik diperlukan perencanaan yang benar dan baik supaya mendapatkan hasil yang tepat. Hal ini juga didasari untuk memudahkan operasional pabrik dan rencana di masa mendatang yang menjadi faktor yang harus diperhatikan ketika ingin menetapkan lokasi suatu pabrik. Faktor yang mencakup produksi dan distribusi dari produk yang dihasilkan. Suatu lokasi pabrik harus memenuhi kriteria yang menjamin produksi dan biaya transportasi seminimal mungkin, selain faktor tadi tentu ada pertimbangan lain yaitu utilitas, pengadaan baku, tenaga kerja, dan lain-lain. Oleh sebab itu sebuah keputusan yang tepat sangat krusial dalam penentuan suatu lokasi perencanaan pabrik.

Dengan mempertimbangkan beberapa faktor di atas, lokasi pabrik furfural dipilih di kabupaten Lamongan, dengan alasan sebagai berikut:

1. Penyediaan Bahan Baku

Pemilihan lokasi di Kabupaten Lamongan dikarenakan daerah tersebut memiliki luas sawah sebesar 87.318 km² atau sekitar 52,19 % dari total lahan. Sebesar 54,71 % lahan sawah sudah dialiri dengan saluran irigasi. Dari data Badan Pusat Statistik Kabupaten Lamongan, Jawa Timur diperoleh data produksi padi sebesar 19,52 ton pada tahun 2013. Bahan baku berupa sekam padi diperoleh dari UD (Usaha Dagang) Adi Putra dengan kapasitas 1.748.900 ton/tahun dan dari beberapa UD lainnya dengan kapasitas rata-rata 24.000 ton/tahun.

2. Pemasaran produk

Konsumsi furfural dalam negeri saat ini banyak dipakai oleh beberapa industri untuk memenuhi permintaan, sehingga perlu memperhatikan lokasi pemasaran yang strategis, termasuk penjualan ke industri pelumas seperti PT Wiraswasta Gemilang Indonesia, Mustika Makmur Petroleum Industri, dan PT Pertamina.

3. Transportasi

Sarana dan prasarana transportasi adalah salah satu faktor penting dalam perkembangan ekonomi. Dari data PU Bina Marga Kabupaten Lamongan mencatat 397.388 km jalan di Kabupaten Lamongan sudah dalam kondisi diaspal Mode transportasi memadai di semua, sehingga memudahkan dalam pemindahan bahan baku maupun produk. adapun lokasi pabrik ini direnakan di bangun dekat dengan pelabuhan Niaga Brondong.

4. Utilitas

Fasilitas penunjang untuk menyuplai kebutuhan listrik, air dan lain-lain perlu diperhatikan dalam keberlangsungan pabrik. Untuk listrik pada pabrik ini sebagian disuplai oleh PT.PLN (Persero) Rayon Lamongan, Jawa Timur. Sedangkan pembangkit listrik utama dihasilkan dari generator diesel. Untuk ketersediaan air diambil langsung dari air sungai Brantas dan Bengawan Solo.

5. Tenaga Kerja

Penyediaan sumber daya pekerja banyak tersedia dari daerah sekitar yang meliputi tenaga kerja profesional,teknis atau bahkan direksi. Sehingga dengan didirikannya pabrik furfural akan meningkatkan pemberdayaan manusia demi mendukung program pemerintah untuk mengurangi angka pengangguran.

6. Kondisi Iklim

Daerah Lamongan, Jawa Timur dikenal sebagai daerah yang memiliki iklim cuaca dan keadaan tanah relatif stabil. Kondisi udara normal daerah tersebut berkisar 28-30°C, sehingga aktivitas kerja pabrik bisa berjalan baik dan lancar.

7. Lokasi Pendirian Pabrik

Lokasi pendirian pabrik furfural ini rencananya akan didirikan di daerah Kabupaten Lamongan, Jawa Timur. Berikut adalah denah lokasi pendirian pabrik dapat dilihat pada Gambar I.1.



Gambar I.1 Denah Lokasi Pendirian Pabrik Furfural

I.4. Tinjauan Pustaka

I.4.1. Tinjauan Proses

Dalam kegiatan produksi suatu produk atau bahan baku pasti membutuhkan proses yang digunakan selama proses produksi berlangsung. Proses akan dianalisa dan ditentukan terlebih dahulu sebelumnya, dimana pemilihan ini memiliki tujuan untuk mencocokkan dan memilih proses mana yang sesuai dan dapat menghasilkan keuntungan dari penggunaan energi dan biaya yang relatif rendah namun memiliki tingkat keefisienan yang maksimal dan menghasilkan konversi yang tinggi, sehingga didapat kualitas produk yang tinggi juga dengan manfaat yang ingin dicapai.

Terdapat berbagai macam proses pembuatan furfural. Berikut ini adalah sebagian dari proses tersebut, yaitu:

a. *Quaker Oats Process*

Pada proses *Quaker Oats* menggunakan asam sulfat sebagai katalis asam dalam produksi furfural. Karena larutan asam diserap ke dalam ampas tebu, diperlukan reaktor yang terbuat dari baja tahan asam yang juga dapat menahan uap bertekanan tinggi. Uap yang dihasilkan kemudian akan dikirim ke bagian *stripping*, yang akan memisahkan komponen kaya furfural. Fase berat dan fase ringan arus atas yang kaya furfural kemudian dipisahkan kembali. Produk sampingan yang dihasilkan dalam teknik ini lebih sedikit. Untuk mencapai suhu 153°C dan tekanan 4,06 atm, digunakan *spherical digester* dengan rotasi *horizontal* dan uap bertekanan

tinggi. Katup uap dibuka dan didistilasi setelah suhu dan tekanan digester tercapai. Cairan furfural memasuki kolom *stripping*, di mana akan dikondensasi dan dipecah menjadi dua lapisan, sementara uap melewati boiler. Untuk membuat 10 kg furfural, proses *Quaker oats* membutuhkan 6-8 jam penguapan, 100 kg bahan, 285 liter air, 2 kg asam sulfat, dan 260 kg uap (Mc Ketta, 1976). Persentase *yield* yang dihasilkan dari proses *Quaker oats* yaitu sebesar 36,2%. Kelemahan yang dimiliki proses ini yaitu:

- Waktu tinggal yang dibutuhkan lebih lama karena suhu yang rendah.
- Kebutuhan akan asam sulfat mempengaruhi rendahnya suhu yang digunakan saat operasi.
- Banyak produk yang terbuang jika proses kondensasi tidak baik .
- Konversi dan kemurnian rendah.
- Menghasilkan residu berupa asam.
- Membutuhkan desain reaktor yang rumit.

b. *Rosenlew process*

Bahan utama diambil melalui kolom destilasi pada temperatur 80 °C dialirkan ke reaktor. Setelah di reaktor tekanan yang digunakan 10,65-11,61 atm. Dengan melewati *Steam* ke dasar reaktor pada 15 kg/cm². Konsumsi *steam* yang digunakan dalam proses ini ialah sebesar 38 kg/kg produk furfural. Pada kondisi normal waktu tinggal bahan baku dalam reaktor sekitar 1-2 jam. *Yield* yang dihasilkan pada proses ini yaitu sekitar 24,6-27%. Proses selanjutnya yaitu distilasi kondensat yang mengandung 5-7% furfural dilanjutkan proses dekantasi dan dehidrasi. Dengan injeksi uap di bagian bawah dan beban pengepakan acak yang menekan bahan baku, reaktor Rosenlaw berfungsi sebagai kolom pemisahan energi (K, Zeittsch, 2000). Teknik ini dikenal sebagai katalisis bawaan atau autokatalisis karena menggunakan katalis yang terdiri dari asam asetat, asam format, dan asam karboksilat yang diperoleh dari bahan baku. Adapun beberapa kekurangan dari proses *Rosenlew* diantaranya:

- Prosesnya yang rumit.
- Waktu tinggal yang cukup lama.
- Kemurnian yang dihasilkan bisa jadi tidak maksimal.

c. *Petrole Chimie Process*

Teknik *agrifurance* adalah dasar dari metode *Petrole Chimie*. Ketika bahan baku digabungkan dengan filtrat filter sisa, menyebabkan rasio padat-cair 1:6 tercapai. Untuk mencapai 177°C , reaktor pertama diberi campuran uap primer dan sekunder (9,28 atm). Uap dari reaktor pertama diumpankan ke reaktor kedua, dan uap dari reaktor kedua diumpankan ke reaktor ketiga. Untuk menjamin aliran, harus ada penurunan tekanan dari reaktor ke reaktor, dan reaktor terakhir hanya memiliki 161°C (6,26 atm). Furfural, seperti uap lainnya lalu distilasi untuk menghasilkan azeotrop, yang kemudian didekantasi menjadi dua lapisan. Kandungan furfural lapisan bawah direduksi menjadi furfural teknis ketika dinetralkan dan didehidrasi. Dalam proses *agrifurance* terbaru asam sulfat memberikan 1% katalis ini dibagian cairan muatan, konsumsi asam jauh lebih berkurang (K, Zeitsch, 2000). Konsumsi steam yang digunakan pada proses ini ialah sebesar 19-20 kg/kg produk furfural. Pada proses ini, dihasilkan *yield* dengan persentase sebesar 39,7%. Kelemahan dari proses *Petrole Chimie* yaitu :

- Membutuhkan rangkaian reaktor yang rumit.
- Konversi dan kemurnian produk bias jadi tidak maksimal.
- Memiliki potensi hilangnya produk yang banyak.

d. *Escher Wyss Process*

Pada tahap kali ini bahan utama dari *storage* diumpankan menggunakan belt conveyor menuju bucket elevator untuk dimasukkan ke reaktor. Saat di dalam reaktor, bahan diaerasi dengan mencampurkan katalis asam asetat dan mengontakkan *steam* di temperatur 145°C - 170°C , tekanan 2,90-3,87 atm. Dalam hal ini setelah melewati feeder rotary, bahan baku turun melalui pipa tengah, dimana disemprot dengan asam sulfat encer 3% sebagai katalis dibagian kelembaban feed. Suhu untuk beroperasi sebesar 170°C dengan rata-rata waktu tinggal 3 jam (K, Zeitsch, 2000). Produk atas yang berupa asam asetat dan furfural diuapkan dengan kondensor bersama kelebihan steam. Kemudian uap dikondensasi, setelah itu didinginkan melalui *gauge* WHB. Kondensat diaerasi, disaring, dan dikumpulkan dalam *intermediate storage tank*. Persentase *yield* yang dihasilkan dari proses tersebut sebesar 24,6%.

Kelemahan proses *Escher Wyss*, yaitu:

- Kemurnian furfural yang dihasilkan rendah.
- Sensitivitas yang tinggi dari *Rotary Feeder* mengakibatkan adanya abrasi.
- Mengakibatkan korosi yang cukup parah yang disebabkan oleh asam yang disemprotkan pada saat reaksi.
- Reaktor Wyss sangat sensitif maka dapat memengaruhi peralatan lainnya.

e. *Supra Yield Process*

Proses diutarakan oleh Arnold & Buzzard (2003), ditujukan untuk menemukan perbaikan dalam hal penurunan *yield* reaksi, penghematan energi, pengeluaran produk furfural serta kemurnian produk furfural dengan menggunakan *steam*. Proses ini menggunakan asam sulfat sebagai katalis. Pengeluaran hidrolisis (furfural dalam air) saat fasa gas dapat menghindari proses filtrasi dengan memisahkan dari limbah padat dan juga menghindari degradasi furfural. Semua proses pembuatan furfural di seluruh dunia memakai *steam* untuk mengeluarkan hasil produk, tetapi pada proses *supra yield* tidak ada produk samping saat mengeluarkan produk furfural. Konsumsi *steam* yang digunakan pada proses *supra yield* ialah sebesar 10 ton. Proses ini merupakan proses dengan penggunaan *steam* paling rendah jika dibandingkan dengan proses lainnya. *Supra yield process* menghasilkan persentase *yield* sebesar 80%. *Supra yield process* bekerja pada temperatur tinggi yaitu sebesar 206-210 °C dengan tekanan 18,35 kg/cm² *gauge* dan waktu tinggal selama 1 jam.

I.4.2. Pemilihan Proses

Secara garis besar proses pembuatan furfural ditampilkan pada Tabel I.4.

Tabel I.4. Jenis-Jenis Proses Pembuatan Furfural

| Keterangan | Jenis-jenis | | | | |
|------------|--------------------|-----------------|-----------------------|--------------------|--------------------|
| | <i>Quaker Oats</i> | <i>Rosenlew</i> | <i>Petrole Chimie</i> | <i>Escher Wyss</i> | <i>Supra Yield</i> |
| Proses | <i>Batch</i> | <i>Continue</i> | <i>Batch</i> | <i>Continue</i> | <i>Batch</i> |
| Temperatur | 153 °C | 80 °C | 170 °C | 145 °C | 206-210 °C |
| Tekanan | 4,06 atm | 10,65-11,61 atm | 6,26-9,28 atm | 2,90-3,87 atm | 18,35 atm |

| Keterangan | Jenis-jenis | | | | |
|----------------|--------------------|-----------------|-----------------------|--------------------|--------------------|
| | <i>Quaker Oats</i> | <i>Rosenlew</i> | <i>Petrole Chimie</i> | <i>Escher Wyss</i> | <i>Supra Yield</i> |
| Katalis | Asam Sulfat | - | Asam Fosfat | Asam Asetat | Asam Sulfat |
| Yield | 36,2 % | 24,6 – 27% | 39,7 % | 24,6 % | 80 % |
| Konsumsi Steam | 22,5 ton | 38 ton | 20 ton | 30 ton | 10 ton |
| Waktu Tinggal | 6-8 Jam | 1-2 Jam | 3-5 Jam | 3-5 Jam | 1 Jam |
| Bahan baku | Tongkol jagung | Bagas tebu, | Tongkol jagung, | Tongkol jagung | Sekam padi |

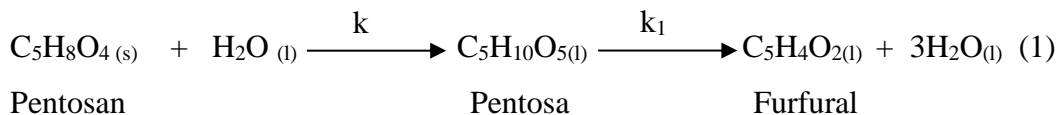
(K, Zeitsch, 2000; Arnold & Buzzard, 2003)

Berdasarkan perbandingan proses yang ada di Tabel I.4, oleh karena itu dipilih lah proses *supra yield* dengan proses *batch*, karena :

1. Tingkat konsumsi steam pada proses ini merupakan yang paling kecil dari proses-proses yang lain serta harga katalis yang murah.
2. Proses *supra yield* meningkatkan hasil *yield* menjadi lebih besar jika dibandingkan dengan proses lainnya.
3. Proses *supra yield* dengan siklus *batch* tidak menghasilkan produk samping.
4. Limbah yang dihasilkan lebih ramah lingkungan

I.4.3. Tinjauan Kinetika

Reaksi berurutan seri dalam pembentukan furfural adalah sebagai berikut :



Sedangkan untuk persamaan kinetika reaksinya sebagai berikut :



$$\frac{dC_{pe}}{dt} = k_0 C_{pn} - k_1 C_{pe} \quad (3)$$

Dari persamaan tersebut diperoleh nilai k_0 dan k_1 sebesar :

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

$$k_1 = 9,306 \times 10^{15} C_H C_{pe} e^{\frac{-16894}{T}} \quad (5)$$

Keterangan :

k_0 = Konstanta laju reaksi pembentukan pentosa (/jam)

k_1 = Konstanta laju reaksi pembentukan furfural (/jam)

C_H = Konsentrasi hidrogen pada temperatur 20 °C (gram/liter)

C_{pe} = Konsentrasi pentosa (gram/liter)

C_{pn} = Konsentrasi pentosan (gram/liter)

T = Temperatur (K)

Persamaan berikut untuk variasi konsentrasi dengan waktu diadaptasi dari

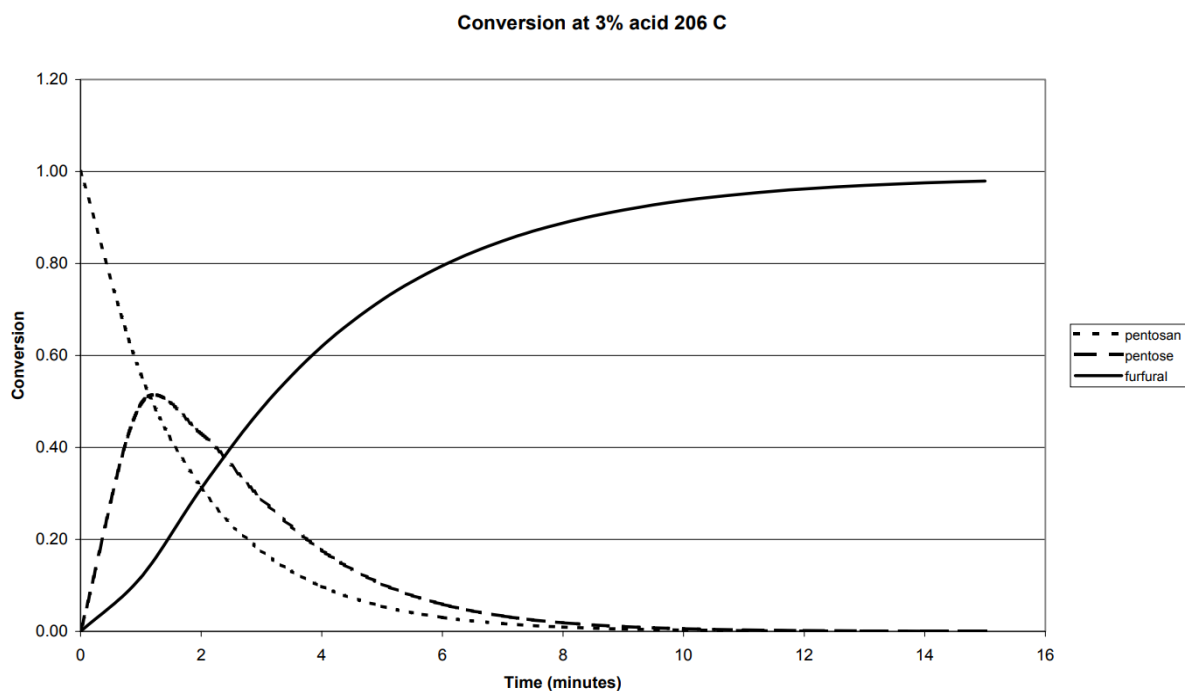
Levenspiel (1972):

$$C_{pn} = C_{pn_0} e^{-k_0 t} \quad (6)$$

$$C_{pe} = C_{pn_0} \left[\left(\frac{e^{k_0 t}}{(k_1 - k_0)} \right) + \left(\frac{e^{-k_1 t}}{k_0 - k_1} \right) \right] \quad (7)$$

$$C_{ff} = C_{pn_0} \left[1 + \left(\frac{k_1}{k_0 - k_1} \right) e^{-k_0 t} + \left(\frac{k_0}{k_1 - k_0} \right) e^{-k_1 t} \right] \quad (8)$$

Pada suhu 206 °C, profil konsentrasi pentosan, pentosa dan furfural yang diprediksi ditampilkan sebagai fungsi waktu dengan asam sulfat 3% sebagai katalis. Konsentrasi asam memiliki pengaruh besar pada konversi. Konversi yang diprediksi dilihat pada gambar I.2.



Gambar I.2 Konversi pentosan yang diprediksi menjadi furfural

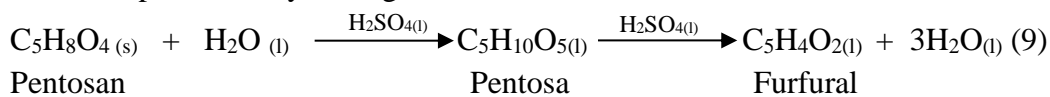
Sehingga didapatkan nilai dan waktu optimum prediksi konversi pentosan ke furfural sesuai paten melalui grafik.

(Arnold and Buzzard, 2003)

I.4.4. Tinjauan Termodinamika

Tinjauan termodinamika digunakan untuk mengetahui sifat reaksi (endotermis/eksotermis) dan arah reaksi (reversible / irreversible). Untuk menentukan panas reaksi berjalan secara eksotermis atau endotermis dapat dihitung dengan perhitungan panas pembentukan standar (ΔH_f°) pada $P = 1 \text{ atm}$ dan $T = 298,15 \text{ K}$.

Adapun reaksinya sebagai berikut:



- a. Harga ΔH_f masing - masing komponen pada temperatur 25°C ($298,15\text{K}$)

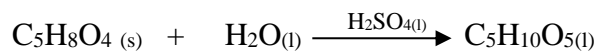
Pada temperatur reff 298 K (Aspen Plus) diperoleh data sebagai berikut:

Tabel I.5 Harga (ΔH_f°) masing-masing komponen

| Komponen | ΔH_f (J/mol) |
|---|----------------------|
| H ₂ O | -241816892.0865 |
| C ₅ H ₄ O ₂ | -151001056.673 |
| C ₅ H ₈ O ₄ | -841881341.8408 |
| C ₅ H ₁₀ O ₅ | -896016639.9801 |

(Aspen Plus)

Reaksi 1:



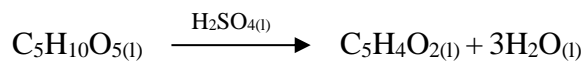
$$\Delta H_1 = \Delta H_f^\circ \text{ produk} - \Delta H_f^\circ \text{ reaktan}$$

$$= \Delta H_f^\circ \text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5 - (\Delta H_f^\circ \text{C}_5\text{H}_8\text{O}_4 + \Delta H_f^\circ \text{H}_2\text{O})$$

$$= [(-896016639,980) - (-841881341,840 + (-241816892,086))] \text{ J/kmol}$$

$$= 187681593,9461 \text{ J/kmol}$$

Reaksi 2:



$$\Delta H_2 = \Delta H_f^\circ \text{ produk} - \Delta H_f^\circ \text{ reaktan}$$

$$= (\Delta H_f^\circ \text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2 + \Delta H_f^\circ 3\text{H}_2\text{O}) - \Delta H_f^\circ \text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$$

$$= [((-151001056,668) + (3 \times (-241816892,086))) - (-896016639,980)] \text{ J/kmol}$$

$$= 19564907,0543 \text{ J/kmol}$$

$$\Delta H_R = \Delta H_1 + \Delta H_2$$

$$= (187681593,946 + 19564907,054) \text{ J/kmol}$$

$$= 207246501,0000 \text{ J/kmol} = 207,2474 \text{ kJ/mol}$$

Hasil ΔH_R tertera positif, dengan demikian reaksi yang terjadi yaitu reaksi endotermis atau memerlukan panas.

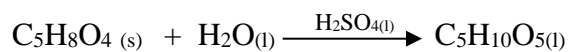
b. Harga ΔG° reaksi (Aspen plus)

Table I.6. Harga (ΔG°) masing – masing komponen

| Komponen | ΔG° (J/mol) |
|---|--------------------------|
| H ₂ O | -228569863.2142 |
| C ₅ H ₄ O ₂ | -102798451.2943 |
| C ₅ H ₈ O ₄ | -698106698.5207 |
| C ₅ H ₁₀ O ₅ | 0.0000 |

(Aspen Plus)

Reaksi 1:



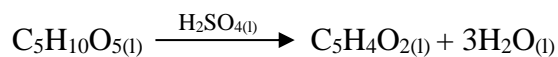
$$\Delta G_1 = \Delta H^\circ_G \text{ produk} - \Delta H^\circ_G \text{ reaktan}$$

$$= \Delta H^\circ_G \text{ C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5 - (\Delta H^\circ_G \text{ C}_5\text{H}_8\text{O}_4 + \Delta H^\circ_G \text{ H}_2\text{O})$$

$$= [(0,000) - (-698106698,520 + (-228569863,214))] \text{ J/kmol}$$

$$= 926676561,7347 \text{ J/kmol}$$

Reaksi 2:



$$\Delta G_2 = \Delta H^\circ_G \text{ produk} - \Delta H^\circ_G \text{ reaktan}$$

$$= (\Delta H^\circ_G \text{ C}_5\text{H}_4\text{O}_2 + \Delta H^\circ_G 3\text{H}_2\text{O}) - \Delta H^\circ_G \text{ C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$$

$$= [((-102798451,294) + (3 \times (-228569863,214))) - (0,000)] \text{ J/kmol}$$

$$= -788508040,9368 \text{ J/kmol}$$

$$\Delta G^\circ = \Delta G_1 + \Delta G_2$$

$$= [926676561,734 + (-788508040,936)] \text{ J/kmol}$$

$$= 138168520,798 \text{ J/kmol} = 138,1692 \text{ kJ/mol}$$

Hasil ΔG° reaksi tertera positif, dengan demikian reaksi yang terjadi yaitu reaksi tidak spontan.

c. Harga Tetapan Kesetimbangan (K)

Perhitungan harga (K) dapat mempelajari dari rumus berikut :

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K \quad (10)$$

Keterangan :

ΔG° = Energi Gibbs standar, kJ/mol

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

T = Temperatur, K

K = Konstanta kesetimbangan

(Smith and Van Ness, 2001)

Dari persamaan maka dapat dicari konstanta kesetimbangan $T_{reff} = 298 \text{ K}$

$$-RT \ln K = \Delta G^\circ \quad (11)$$

$$\Delta G^\circ_{298} = -RT \ln K \quad (12)$$

$$\ln K_{298} = \frac{\Delta G^\circ}{-RT} \quad (13)$$

$$\ln K_{298} = -\frac{138,1692 \times 10^3 \text{ J/mol}}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol K}} \times 298 \text{ K}}$$

$$\ln K_{298} = -55,768$$

$$K_{298} = 6,029 \times 10^{-25}$$

$$\ln \frac{K_{T_{operasi}}}{K_{298}} = -\frac{\Delta H_{298 \text{ K}}}{R} \left[\frac{1}{T_{operasi}} - \frac{1}{T_{298}} \right] \quad (14)$$

$$\ln \frac{K_{T_{operasi}}}{6,029 \times 10^{-25}} = -\frac{207,247 \times \frac{10^3 \text{ J}}{\text{mol}}}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol K}}} \left[\frac{1}{483} - \frac{1}{298} \right] \text{ K}$$

$$\ln \frac{K_{T_{operasi}}}{6,029 \times 10^{-25}} = 32,032$$

$$\frac{K_{T_{operasi}}}{6,029 \times 10^{-25}} = 8,153 \times 10^{13}$$

$$K_{T_{operasi}} = 4,915 \times 10^{-11}$$

Dari data perhitungan tersebut tersebut Nilai $K_{Toperasi} < 1$ dapat dikatakan bila reaksi yang terjadi adalah *irreversible*.

I.5. Kegunaan Produk

Furfural dimanfaatkan sebagai bahan baku dan sebagai bahan pembantu dalam suatu industri. Berikut pemanfaatan produk furfural yang banyak digunakan dalam berbagai macam industri:

1. Digunakan sebagai pelarut, Furfural dan turunannya memiliki aplikasi skala besar di banyak industri seperti farmasi, plastik, agrokimia, dll. Furfural juga dapat digunakan sebagai pelarut larutan dalam etanol dan eter dan sebagian larut dalam air. Adanya gugus aldehida dan rantai furan dalam furfural membuat molekul furfural menunjukkan sifat luar biasa sebagai pelarut selektif. Furfural dipakai untuk produksi resin fenolik, membantu dalam penyulingan ekstraktif butadiena.
2. Furfural dapat digunakan sebagai bahan dalam pembentuk senyawa furan lain yaitu *Maleic anhydride*, furfural alkohol, 2-metilfuran (*sylvan*), tetrahidro furfural alkohol untuk dimanfaatkan sebagai:
 - a. Bahan dalam memproduksi plastik.
 - b. Industri parfum, aromatizing dan herbisida.
 - c. Bahan pembuatan resin fenolik.
 - d. Penghilang warna *wood resin*.