

**PRA RANCANGAN PABRIK
FURFURAL DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT
DENGAN KAPASITAS 750 TON/TAHUN**



SKRIPSI PRA-RANCANGAN PABRIK

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
guna memperoleh Gelar Sarjana Sains Terapan
pada Politeknik Negeri Ujung Pandang

Wahyuni Bachtiar (432 18 030)

Dian Anggriani Nur (432 18 035)

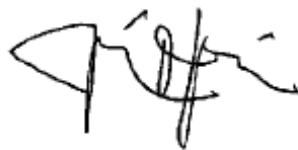
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KIMIA INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK KIMIA
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2020

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

Skripsi dengan judul “Prarancangan Pabrik Furfural dari Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Kapasitas 750 Ton/Tahun” oleh Wahyuni Bachtiar (432 18 030) dinyatakan layak untuk diujikan.

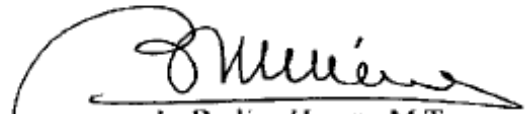
Makassar, 10 September 2020

Pembimbing I



Dr. Ridhawati, S.T., M.T.
NIP 19760419200501 2 002

Pembimbing II



Ir. Barlian Hasan, M.T.
NIP 19591112199003 1 001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia,

a.n. Direktur



Drs. Herman Banggalino, M.T.
NIP 19610831 199003 1 002

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

Skripsi dengan judul “Prarancangan Pabrik Furfural dari Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Kapasitas 750 Ton/Tahun” oleh Dian Anggriani Nur (432 18 035) dinyatakan layak untuk diujikan.

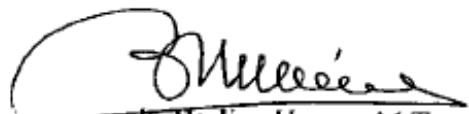
Makassar, 10 September 2020

Pembimbing I



Dr. Ridhawati, S.T., M.T.
NIP 19760419200501 2 002

Pembimbing II



Ir. Barlian Hasan, M.T.
NIP 19591112199003 1 001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia,

a.n. Direktur



Drs. Herman Banggalino, M.T.
NIP 19610831 199003 1 002

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Pendirian Pabrik

Indonesia sebagai negara agraris mempunyai berbagai macam sumber biomassa seperti tongkol jagung, ampas tebu, sekam padi, kayu, tandan kosong kelapa sawit dan sisa pertanian lainnya dalam jumlah yang cukup besar. Pemanfaatan limbah pertanian tersebut masih tergolong sederhana dan sebatas sebagai bahan bakar. Pengembangan teknologi diharapkan dapat meningkatkan nilai jual dari limbah pertanian tersebut.

Salah satu produk yang dapat dibuat dari limbah pertanian adalah furfural. Furfural merupakan salah satu bahan kimia yang berbahan baku biomassa. Furfural merupakan zat yang sangat penting dalam industri proses kimia. Furfural dapat digunakan secara langsung sebagai pelarut maupun sebagai bahan pembentuk senyawa lain.

Kebutuhan dalam negeri terhadap furfural meskipun tidak besar, tetapi jumlahnya kian meningkat. Saat ini furfural masih di impor dari luar negeri yaitu dari China, Thailand, Singapura, Amerika Serikat, Inggris, Prancis dan Jerman. Pembangunan pabrik pembuatan furfural dari tandan kosong kelapa sawit diharapkan dapat memenuhi kebutuhan furfural domestik, serta menurunkan impor, menjaga kelestarian hutan, dan memanfaatkan limbah pengolahan kelapa sawit yang selama ini belum banyak dimanfaatkan.

Adapun faktor-faktor yang mendukung pendirian pabrik furfural di Indonesia adalah:

- 1) Pendirian pabrik dapat memenuhi kebutuhan furfural dalam negeri.

- 2) Memperkecil ketergantungan terhadap impor furfural yang setiap tahunnya cenderung meningkat, juga dapat merangsang pertumbuhan industri lainnya, sehingga dapat menghemat devisa negara.
- 3) Ketersediaan bahan baku dalam jumlah yang cukup besar di Indonesia, yaitu tandan kosong sawit. Dan juga pemanfaatan tandan kosong sawit sebagai limbah agar menjadi produk yang bernilai ekonomi yang lebih tinggi.
- 4) Membuka lapangan kerja baru sehingga dapat membantu menyelesaikan masalah ketenagakerjaan.
- 5) Menambah devisa Negara khususnya dari pajak produksi.

Pengembangan industri yang memproduksi furfural dan turunannya diharapkan dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri sehingga mengurangi angka impor dan meningkatkan nilai investasi di Indonesia. pengembangan industri ini dapat memberi nilai tambah bagi hasil samping pengolahan hasil pertanian yang ketersediaannya dalam jumlah banyak di Indonesia.

Komponen lignoselulosa tandan kosong kepala sawit memiliki limbah yang potensial untuk menghasilkan produk. Volume limbah yang terus meningkat belum diimbangi dengan kemajuan teknologi dalam pemanfaatannya. Salah satu alternatif adalah pendirian pabrik furfural yang diharapkan dapat meningkatkan perekonomian, devisa serta mengatasi dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh limbah industri pertanian tersebut.

B. Kapasitas Perancangan Pabrik

Kapasitas pabrik furfural ditentukan dengan beberapa pertimbangan antara lain ketersediaan bahan baku dan kebutuhan furfural di Indonesia.

a. Ketersediaan bahan baku

Limbah pabrik kelapa sawit memiliki nilai ekonomis yang tidak tinggi dan tersedia dalam jumlah besar di Indonesia seperti tandan kosong kelapa sawit. Luas area perkebunan kelapa sawit di Indonesia terus mengalami peningkatan. Saat ini luas area perkebunan kelapa sawit 8.515.300 Ha dengan produksi 40.567.200 ton/tahun (BPS,2018). Provinsi Sulawesi Barat termasuk provinsi yang memiliki produksi kelapa sawit kedua terbesar di Indonesia.

Tabel I.1 Data Produksi Kelapa Sawit di Indonesia

<i>Tahun</i>	<i>Produksi (Ton)</i>
2013	27.782.000
2014	29.278.200
2015	31.070.000
2016	31.731.000
2017	34.940.300
2018	40.567.200

Sumber: Biro Pusat Statistik (2012-2018)

Tabel I.2 Data Produksi Kelapa Sawit di Sulawesi Barat

<i>Tahun</i>	<i>Produksi (Ton)</i>
2013	282.740
2014	285.500
2015	294.600
2016	434.100
2017	527.300
2018	584.200

Sumber: Biro Pusat Statistik (2012-2018)

Pabrik furfural direncanakan akan mulai beroperasi pada tahun 2024. Untuk menghitung data produksi kelapa sawit 5 tahun kedepan di Provinsi Sulawesi barat menggunakan rumus ekstrapolasi.

$$\frac{(y - y_1)}{(y_2 - y_1)} = \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)}$$

Tabel I.3 Data Hasil Ekstrapolasi Produksi Kelapa Sawit di Provinsi Sulawesi Barat 5 tahun kedepan

<i>Tahun</i>	<i>Produksi (Ton)</i>
2019	644.492
2020	704.784
2021	765.076
2022	825.368
2023	885.660
2024	945.952

Pemanfaatan limbah tandan kosong kelapa sawit saat ini belum digunakan secara optimal. Secara umum limbah tersebut hanya digunkana sebagai bahan baku pembuatan pupuk organik ataupun dibakar kemudian abu sisa pembakaran digunakan sebagai sumber kalium. Sedangkan 1 ton buah segar kelapa sawit terdapat 23% tandan kosong kelapa sawit dan mengandung pentosan sebesar 26,69%. (Darnoko 1995)

Dari data hasil penelitian tersebut dan data hasil ekstrapolasi produksi kelapa sawit di Sulawesi Barat pada tahun 2024, maka dapat diketahui bahwa pada tahun 2024 dapat diproduksi pentosan sebanyak 58.069 ton.

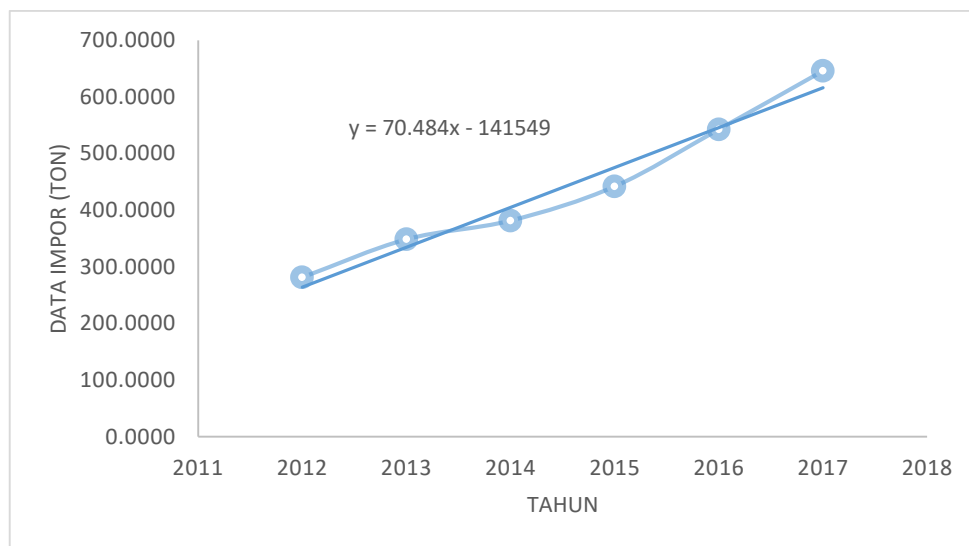
b. Kebutuhan furfural di Indonesia

Permintaan furfural Indonesia tidak begitu besar, namun jumlahnya terus meningkat. Hingga saat ini kebutuhan furfural dalam negeri diperoleh melalui impor, dimana impor terbesar dikuasai China.

Tabel I.4 Kebutuhan Import Furfural di Indonesia	
Tahun	Kebutuhan (Ton/Tahun)
2012	281,05
2013	348,26
2014	381,36
2015	441,69
2016	542,52
2017	645,82

Sumber: Biro Pusat Statistik data impor (2012-2017)

Berdasarkan data dari Biro Statistik kebutuhan impor furfural di Indonesia pada tahun 2012-2017 kemudian dibuat grafik untuk memperoleh persamaan linier sebagai berikut.



Gambar I.1 Grafik Kebutuhan Furfural di Indonesia

Berdasarkan grafik tersebut didapatkan persamaan linier $Y = 70,484x - 141549$ dimana x adalah tahun dan Y adalah jumlah produksi furfural (ton) per

tahunnya. Dari persamaan tersebut kemudian disubstitusi kebutuhan furfural pada tahun 2024 sebagai berikut

$$Y = 70,484x - 141549$$

$$Y = ((70,484 (2024)) - 141549$$

$$Y = 1100,616 \sim 1100 \text{ ton}$$

Hasil perhitungan secara matematis melalui persamaan linier diperoleh kebutuhan furfural di Indonesia pada tahun 2024 mencapai 1100 ton. Berdasarkan nilai tersebut maka pabrik yang direncanakan akan berdiri pada tahun 2024, akan memenuhi sekitar 68% kebutuhan impor Indonesia yakni sebesar 750 ton per tahun

Berdasarkan pada dua pertimbangan di muka, maka dirancang pabrik dengan kapasitas 750 ton/tahun dengan pertimbangan :

- 1) Ketersediaan bahan baku tandan kosong untuk dijadikan furfural memenuhi kebutuhan pabrik.
- 2) Dapat mengurangi kebutuhan impor furfural

C. Pemilihan Lokasi Produksi

Lokasi suatu pabrik sangat berpengaruh terhadap kelangsungan operasi pabrik tersebut. Untuk itu sebelum pabrik berdiri perlu dilakukan studi kelayakan untuk mempertimbangkan faktor-faktor penunjang yang mendukung kelangsungan pabrik tersebut. Adapun faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan adalah :

- 1) Penyediaan bahan baku
- 2) Penyediaan listrik dan bahan bakar
- 3) Penyediaan air
- 4) Transportasi

5) Tenaga kerja

Dengan mempertimbangkan faktor-faktor diatas maka direncanakan lokasi pabrik pembuatan furfural dari tandan kosong kelapa sawit ini terletak di daerah Kabupaten Mamuju Utara, Sulawesi Barat dengan alasan sebagai berikut.

1) Penyediaan bahan baku utama

Lokasi pabrik dipilih karena dekat dari sumber bahan baku tandan kosong kelapa sawit untuk mengurangi biaya transportasi dan kehilangan bahan baku dalam transportasi. Bahan baku tandan kosong kelapa sawit diperoleh dari hasil buangan industri pengolahan kelapa sawit yang ada di Kabupaten Mamuju utara yang merupakan kabupaten penghasil kelapa sawit terbesar di Sulawesi Barat.

2) Penyediaan listrik, bahan kimia dan bahan bakar

Untuk tenaga listrik diperoleh dari PLN dan disiapkan pula suatu pembangkit listrik tenaga diesel sebagai cadangan bila terjadi gangguan listrik dari PLN. Sedangkan bahan bakar, pelumas dan bahan dapat diperoleh dari perusahaan pengilangan minyak PT Pertamina serta bahan kimia diperoleh dari pabrik Asam Sulfat PT Pupuk Kaltim di yang ada di Kalimantan Timur

3) Penyediaan Air

Kebutuhan air untuk menunjang kelancaran proses, air minum serta keperluan lainnya, dapat diperoleh dari Sungai Salo Pibatua yang bermuara langsung ke laut Selat Sulawesi.

4) Transportasi

Sarana transportasi untuk keperluan seperti pengangkutan bahan baku, bahan bakar ataupun bahan kimia dan pemasaran produk dapat ditempuh baik melalui jalan darat maupun perairan. Terdapat 3 pelabuhan di kabupaten Mamuju Utara yaitu pelabuhan Pasang kayu, pelabuhan Cinoki dan Pelabuhan Bone Manjing yang dapat dijadikan tempat bongkar muat kapal yang mengangkut bahan baku, bahan kimia serta bahan bakar maupun produk lainnya sehingga aktivitas pabrik dan pemasaran dapat berjalan lancar.

5) Tenaga Kerja

Sumber tenaga kerja di daerah ini cukup banyak dan dapat diperoleh dengan mudah, baik tenaga berpendidikan rendah, menengah, maupun tinggi. Penerimaan tenaga kerja bagi pabrik ini dapat mengurangi tingkat pengangguran di daerah tersebut.

D. Tinjauan pustaka

a. Tandan Kosong Kelapa Sawit

Komoditas kelapa sawit memiliki berbagai macam kegunaan baik untuk industri pangan maupun non pangan/oleochemical serta produk samping/limbah. Limbah kelapa sawit di antaranya adalah pelepah daun, bungkil inti sawit, sludge, tandan kosong kelapa sawit, cangkang dan serat (Dirattanhun, 2008).

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) adalah limbah padat yang dihasilkan oleh pabrik minyak sawit mentah. Dalam satu hari pengolahan bisa dihasilkan ratusan ton TKKS. Menurut Darnoko (1992), dari satu ton tandan buah segar (TBS) yang diolah akan dihasilkan minyak kasar (CPO) sebanyak 0,21 ton (21%) serta

minyak inti sawit (PKO) sebanyak 0,5 ton (5%). Sisanya merupakan limbah dalam bentuk tandan buah kosong, serat dan cangkang bij yang jumlahnya masing-masing sekitar 23%, 13,5% dan 5,5% dari tandan buah segar. Komponen utama TKKS adalah selulosa, hemiselulosa, dan lignin TKKS dapat diolah menjadi pulp atau furfural.

Tabel I.5 Komposisi Tandan Kosong Kelapa Sawit

NO.	Parameter	Kandungan (%)
1.	Lignin	22,60
2.	A-Selulosa	45,80
4.	Pentosan	25,90
5.	Kadar Abu	1,60
6.	Kadar Air	4,10

Sumber: Purwoto dan Anita, 2005

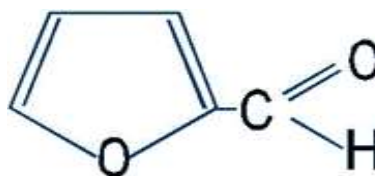
b. Sejarah Furfural

Furfural pertama kali ditemukan pada tahun 1821, saat itu minat untuk memproduksi furfural secara komersial sangat kecil. Hal ini berlangsung hingga memasuki abad 20. Namun antara tahun 1910 dan awal 1920an telah dikeluarkan beberapa paten tentang furfural. Pada bulan februari 1922, furfural diproduksi secara komersial oleh *The Quaker Oats Company* dengan menggunakan kulit gandum sebagai bahan baku dengan kapasitas produksi hanya beberapa ton pertahun. Sejak saat itu, produksi furfural secara komersial terus berkembang hingga sekarang.

Furfural merupakan senyawa terpenting dalam keluarga senyawa heterosiklik yang dikenal dengan nama furan, yaitu senyawa cincin dengan dua ikatan tak jenuh dari empat buah atom karbon dan satu atom oksigen. Furfural adalah senyawa aldehid dengan gugus –CHO pada posisi 2 (atau α) dan diproduksi

dari pentosan yang terdapat dalam limbah agricultural. [Othmer, 1995]. Furfural merupakan anggota keluarga senyawa furan yang terpenting dan juga merupakan sedikit dari bahan kimia yang berbasis biomassa yang mampu bersaing dengan minyak mentah.

Furfural (*2-furaldehid, fural, 2-furankarboksaldehid, furfuraldehid, furol*), C_4H_3OCHO (berat molekul 96,085 gram/mol) merupakan senyawa aldehid aromatic. Dalam kondisi murni, furfural merupakan cairan bening yang memiliki bau seperti buah badam (*almond*). Namun apabila furfural mengalami kontak secara langsung dengan udara bebas, furfural akan berubah secara cepat menjadi berwarna coklat kehitaman (gugus fungsi aldehid teroksidasi menjadi karboksilat), pH-nya naik dan akan terbentuk polimer.



Gambar I.2 Struktur molekul Furfural
(*organic of industries*, Wijanarko.2006)

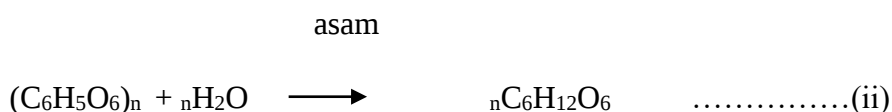
Furfural dihasilkan dari biomassa lewat 2 tahap reaksi, yaitu hidrolisis dan dehidrasi. Untuk itu digunakan bantuan katalis asam, misalnya: asam sulfat, dan lain-lain.

Reaksi utama pembuatan Furfural adalah sebagai berikut:

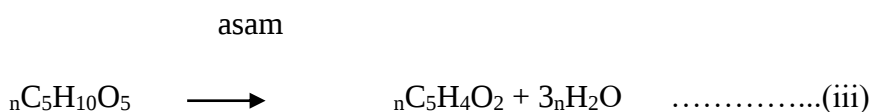
1. Hidrolisis pentosan menjadi pentosa:



2. Hidrolisis selulosa menjadi glukosa:



3. Dehidrasi pentosa membentuk Furfural:



(Wijanarko,dkk, 2006)

Furfural merupakan zat yang sangat penting dalam industri proses kimia. Furfural dapat digunakan secara langsung sebagai pelarut maupun sebagai bahan pembentuk senyawa lain. Sebagai pelarut, furfural digunakan dalam bidang berikut:

a. Pelarut selektif dalam pemurnian minyak

Pada proses pemurnian minyak, furfural digunakan untuk memisahkan komponen jenuh dan tak jenuh pada minyak. Konsumsi furfural terbesar saat ini adalah digunakan untuk proses pemurnian pelumas.

b. Ekstraktan dalam pemurnian butadien

Furfural sebagai medium destilasi ekstraktif pada pemisahan butadien dari petroleum. Butadien digunakan sebagai bahan baku pembuatan karet sintetis.

c. Senyawa penghilang warna pada damar kayu

Furfural digunakan untuk mengangkat warna dari bahan damar kayu untuk memproduksi produk berwarna merah muda yang mampu berkompetisi dengan damar karet. Digunakan dalam produksi *varnishes*, sabun dan industri kertas.

- d. Furfural digunakan sebagai pelarut untuk *nitrocellulose* dan *cellulose acetate* dan pencelupan sepatu kulit.

Sedangkan sebagai bahan pembentuk senyawa lain, furfural digunakan dalam bidang-bidang sebagai berikut :

- a. Bahan baku nilon, asam adipat dan adiponitril

Furfural digunakan sebagai bahan baku pembuatan nilon 6-6. Furfural juga digunakan sebagai bahan pembentuk asam adipat dan adiponitril.

- b. Bahan kimia pembentuk senyawa lain

Furfural banyak digunakan sebagai bahan baku untuk memproduksi senyawa furan dan tetrahidrofuran seperti furfural alkohol, furan, metil furan, dan metil tetrahidrofuran. Furfural juga untuk pembuatan berbagai variasi produk komersial, seperti pirol, pirolidin, pirimidin, piperidin, asam levulinic, γ -velerolakton dan 5-metil-2-pirolidon.

- c. Pembuat Resin

Furfural direaksikan dengan fenol membentuk resin furfural-fenol yang berguna dalam bentuk *varnish es* dan resin pengikat. Solvent reaktif untuk pembuatan *Resinoid-Bonded Grindminding Wheels*.

Polisakarida hemiselulosa (pentosan) merupakan polimer gula yang memiliki lima atom karbon di setiap monomer-monomernya. Polisakarida tersebut banyak terdapat di dalam biomassa seperti tandan kosong sawit, tongkol jagung, ampas tebu, kayu dan lain sebagainya. Ketika pentosan dipanaskan dalam larutan asam kuat (seperti HCl dan H₂SO₄), pentosan akan terhidrolisis menjadi *xylose*, dan

kemudian *xylose* akan mengalami dehidrasi (melepaskan tiga molekul H_2O) dalam menghasilkan furfural.

Jadi, furfural berasal dari pentosan yang terkandung di dalam biomassa seperti tandan kosong sawit, sekam padi, ampas tebu (bagas), kayu, kulit gandum dan sebagainya.

c. Macam-macam Proses Pembuatan

Pada dasarnya, furfural terbentuk sebagai hasil dari proses dehidrasi pentosa. Hingga saat ini, beberapa metode yang telah digunakan dalam memproduksi furfural secara komersial adalah sebagai berikut:

1) *Continuous Quaker Oats Process*

Bahan baku diumpankan ke dalam reaktor horizontal oleh sebuah alat *auger process* yang berfungsi sebagai pengumpan dan pengunci tekanan. Reaktor yang digunakan sebaiknya yang terbuat dari baja ringan yang dilapisi dengan batu bata tahan asam. Kecepatan bahan baku melewati reaktor dipengaruhi oleh alat penggerak yang terbuat dari *stainless steel*. Asam sulfat encer dimasukkan ke dalam reaktor melalui *Multiple nozzle* dengan konsentrasi 0,8 % untuk mengkatalisis reaksi, selanjutnya *superheated steam* dimasukkan ke dalam reaktor sebagai pemanas dan pelucut. Bahan baku dan steam mengalir secara bersamaan. Kadar kelembapan dalam reaktor adalah 40-45 %. Reaksi berlangsung pada temperatur $183^{\circ}C$ selama satu jam. Uap produk dan residu dikeluarkan secara periodik oleh sistem katup *double lock ram*. Untuk memisahkan padatan dari uap digunakan siklon.

2) *Rosenlaw Process*

Bahan baku diumpankan secara periodik melalui puncak reaktor yang disusun secara vertikal. Residu dikeluarkan secara periodik pula dari bagian bawah reaktor. Steam untuk pemanas dan pelucut dimasukkan secara kontinyu dari bagian bawah reaktor sedangkan uap produk keluar dari bagian atas. Sehingga, bahan baku dan steam mengalir secara *countercurrent*. Reaksi berlangsung pada temperatur 180-200 °C selama dua jam. Pada kondisi tersebut, asam asetat dapat terbentuk sehingga dapat menghidrolisis pentosan dan bertindak sebagai katalis dalam dehidrasi pentosa. Dalam proses ini, furfural yang dihasilkan dari ekstraksi kayu ek sekitar 6 %. Residu yang dihasilkan dari produksi langsung dibakar. Fasilitas produksi yang menggunakan proses ini telah didirikan di beberapa negara yaitu Rusia, Spanyol, Afrika Selatan, Filipina, dan beberapa negara lain.

3) *Escher Wyss Process*

Bahan baku diumpankan secara periodik ke dalam reaktor vertikal dimana steam masuk secara kontinyu sebagai pemanas dan pelucut untuk mempertahankan bahan baku sebagai unggun fluida. Residu dikeluarkan secara periodik dari bawah reaktor sedangkan uap produk keluar dari atas. Asam sulfat atau asam asetat dan formiat yang dihasilkan dari bahan baku, bertindak sebagai katalis reaksi. Reaksi terjadi pada temperatur 170 °C dengan rata-rata waktu tinggal asam sulfat 45 menit. Reaktor baru untuk tipe ini tidak akan dibuat lagi karena proses unggun fluida dengan rentang waktu tinggal yang lebar, pada dasarnya tidak sesuai. Hungaria adalah negara yang menggunakan proses ini.

4) *Quaker Oats Batch Process*

Proses ini menggunakan teknologi produksi furfural satu tahap. Bahan mentah (sekam gandum, tongkol jagung, dan lain-lain) yang telah direndam dalam asam sulfat encer diumpankan ke dalam reaktor silinder atau bola yang dapat berotasi pada sumbu horizontal dengan volume 100 m³. Steam sebagai medium pemanas dan pelucut dimasukkan melalui suatu katup sedangkan uap produk keluar melalui katup yang lain. Untuk setiap satu ton produk furfural digunakan asam sulfat sebanyak 21 kg. Asam sulfat tersebut diencerkan sehingga memberikan kelembaban sebesar 42 % setelah pemanasan. Reaksi berlangsung pada temperatur 153 °C dengan durasi destilasi furfural selama 5 jam. Reaktor dilapisi dengan batu bata karbon dan ditutup dengan sebuah semen tahan asam. Furfural yang didapat dengan menerapkan teknologi ini, sekitar 10 % dari massa bahan baku. Residunya yang dihasilkan digunakan sebagai bahan bakar boiler untuk menghasilkan steam.

5) *Chines Process*

Bahan mentah yang telah direndam dalam asam sulfat encer diumpankan ke dalam reaktor batch silinder yang disusun secara vertikal. Steam sebagai medium pemanas dan pelucut dimasukkan secara kontinyu dari bawah. Sedangkan uap produk keluar dari bagian atas reaktor. Penambahan asam digunakan untuk mendapatkan kadar kelembaban awal 42 % dengan asam sulfat 1,5 % dalam fasa cair. Reaksi berlangsung pada temperatur 160 °C selama 4,5-5 jam. Reaktor terbuat dari stainless steel yang tidak dilapisi. Untuk mengantisipasi terjadinya korosi, ketebalan dinding reaktor mencapai 10 mm.

6) *N. Vedernikov's Technology*

Sebelum masuk ke dalam reaktor, bahan baku dicampur dengan asam sulfat pekat. Kemudian diumpankan ke dalam reaktor silinder vertikal. Steam sebagai medium pemanas dan pelucut dimasukkan secara kontinyu dari bawah sedangkan uap produk keluar dari bagian atas reaktor. Pada proses ini, telah dikembangkan suatu alat pencampur kontinyu yang disebut *two-shaft helix shaped blade* dan *air-dispersed*. Reaksi berlangsung pada temperatur 130-180 °C selama 1-2 jam. Pada kondisi tersebut, asam asetat yang terbentuk dapat menghidrolisis pentosan dan bertindak sebagai katalis dalam reaksi dehidrasi pentosa sekaligus sebagai produk samping yang dapat dijual. Dalam proses ini, furfural yang dihasilkan dari hasil ekstraksi kayu ek sekitar 9,2 %. Residu yang dihasilkan dari proses produksi dapat menjadi bahan bakar atau diolah lagi menjadi gula fermentasi. Teknologi ini telah dipatenkan di tujuh negara dan diterapkan di sembilan pabrik di empat negara.

7) *Agrifurane Proces*

Pada proses ini digunakan beberapa reaktor batch silinder dalam posisi vertikal, disusun secara seri. Di beberapa pabrik, katalis yang digunakan adalah superfosfat atau kalsium fosfat. Steam utama dimasukkan ke dalam reaktor pertama untuk mencapai kondisi temperatur 177 °C. Uap dari reaktor pertama diumpankan ke reaktor kedua. Selain itu, reaktor kedua juga menerima sebagian steam utama yang berfungsi sebagai *make up* tekanan yang hilang dari reaktor pertama. Uap dari reaktor kedua diumpan ke reaktor ketiga, dan seterusnya. Adanya *pressure drop* antar reaktor yang digunakan untuk mengalirkan uap produk, menyebabkan temperatur pada reaktor yang terakhir hanya sebesar 161 °C. Akan tetapi, periode

batch dibagi oleh suatu sistem valve dan perpipaan sedemikian rupa sehingga masing-masing reaktor bekerja pada temperatur spesifik yang berbeda-beda namun dalam rentang waktu yang sama sehingga isi dalam tiap-tiap reaktor mengalami perlakuan yang sama. Bahan baku dicampur dengan filtrat hasil dari *dewatering filter press* residu produksi untuk menghasilkan 'lumpur' dengan perbandingan massa padatan : cairan sebesar 1:6. Versi terakhir dari proses ini menggunakan asam sulfat konsentrasi 1 % dari isian dalam porsi cair. Sebagian besar asam diambil lagi dan didaur ulang dalam tahap *dewatering* residu. Lignoselulosa residu yang kaya akan fosfat, dipertimbangkan untuk digunakan sebagai pupuk. Tetapi sekarang, aplikasi industri untuk teknologi pembuatan pupuk dari residu ini telah dihentikan karena tingginya biaya untuk transportasi pupuk yang berat dan bervolume besar.

8) *SupraYield Technology*

Supra yield technology adalah suatu proses produksi furfural yang telah dipatenkan yang ditemukan oleh Dr. K. Zeitch yang dikembangkan oleh Internatioanl Furan Technology (IFT). Proses ini didasarkan pada US Paten No. 4,912,237 yang dikemukakan oleh Dr. Karl Zeitch kemudian ia kembangkan bekerja sama dengan tim DalinYebo pada akhir 1990-an. Proses ini kemudian baru dipatenkan pada tahun 2001 oleh IFT.

Menurut Arnold & Buzzard (2003), proses ini dapat mengatasi masalah dalam hal penghematan energi, penurunan yield reaksi, kemurnian produk dan pengeluaran produk furfural dengan menggunakan steam. Pengeluaran hidrolisat (furfural dalam air) pada fasa uap dapat menghindari operasi filtrasi untuk

memisahkannya dari ampas padat sisa pemasakan dan menghindari degradasi furfural. Semua proses produksi furfural di dunia, pengeluaran produk dengan menggunakan steam, tetapi dalam proses Supra Yield pengeluaran produk furfural tidak diikuti produk samping. Dalam proses supra yield yang dikemukakan oleh Arnold & Buzzard (2003) dengan tekanan sebesar 18 atm dan memiliki waktu tinggal selama 1 jam, menggunakan asam sulfat sebagai katalis sebanyak 3 % dari massa reaktor.

d. Data Fisika dan Kimia

1) Furfural

Rumus kimia	: $C_5H_4O_2$
Berat molekul	: 96,082 g/mol
Wujud	: Cair bening, tak berwarna
Bau	: Tajam, aromatik
Titik didih	: 161,7 °C
Titik beku	: -36,5 °C
Densitas	:
Pada 20 °C	: 1,1598 g/cm ³
Pada 25 °C	: 1,1545 g/cm ³
Pada t °C	: $d = 1,181191 - 0,000895 t$
Temperatur kritis	: 397 °C
Tekanan kritis	: 798 psia
Kapasitas panas	: 1,74 J/(g.K) (liquid, pada 20-100 °C)

2) Pentosan

Rumus kimia	: $(C_5H_8O_4)_n$
Berat molekul	: 132,114 kg/kmol
Wujud	: Kristal berbentuk jarum
Bau	: Tajam, aromatik
Titik didih	: 151 °C
Titik leleh	: 59 °C
Densitas	: 1,156 kg/m ³
Panas Pembentukan	: -531,9 kJ/kmol
Sifat lain	:

- a). Sedikit larut dalam air
- b). Larut dan terhidrolisa dalam asam mineral encer dan asam organik encer
- c). Larut dalam larutan alkali hidroksida encer
- d). Lebih mudah terhidrolisa dibanding selulosa

3) Asam Sulfat

Rumus kimia	: H_2SO_4
Berat molekul	: 98,08 g/mol
Wujud (25°C)	: cair
Titik didih	: 336,85 °C
Titik leleh	: 10,31 °C
Spesific gravity	: 1,834
Tekanan uap	: 0,3 mmHg
Liquid density	: 18,87132 Kmol/m ³ (283,46 K)

4) Air

Rumus kimia	:	H_2O
Berat molekul	:	18,015
Wujud	:	Cair
Titik didih	:	100°C
Titik leleh	:	0°C
Densitas	:	$0,996 \text{ kg/m}^3$ $0,92 \text{ g/cm}^3$ (padatan)
Kalor jenis	:	$4184 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ (cairan pada 20°C)
Temperatur kritis	:	$374,15^\circ\text{C}$
Tekanan kritis	:	218,307 atm
Kapasitas panas	:	$8,712 + 1,25 T + (-0,18) T^2$

5) Selulosa

Rumus kimia	:	$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$
Berat molekul	:	162,14 g/mol
Wujud	:	Solid, amorphorus
Titik leleh	:	146°C
Densitas	:	$1,544 \text{ kg/m}^3$
Kapasitas panas	:	$62,6658 \text{ kal/mol}^\circ\text{C}$
Sifat lain	:	

- a). Tidak mudah larut dalam air
- b). Tidak larut dalam pelarut organik
- c). Tidak larut dalam larutan alkali encer

d). Larut dalam asam mineral pekat

e). Terhidrolisis relatif lebih cepat pada temperatur tinggi

6) Lignin

Rumus kimia : $C_9H_{10}O_2OCH$

Berat molekul : 179,1973 kg/kmol

Wujud (25°C) : amorphorus

Densitas : 1,291 kg/m³

Panas Pembentukan : -53,25 kJ/kmol

Kapasitas panas : 37,8 kJ/mol

Sifat lain :

a). Tidak larut dalam air

b). Tidak larut dalam asam mineral kuat

c). Larut secara parsial dalam pelarut organik

d). Larut dalam larutan alkali hidroksida encer

7) Pentosa

Rumus kimia : $C_5H_{10}O_5$

Berat molekul : 150,13 kg/kmol

Titik Leleh : 153-154 °C

Wujud (25°C) : Solid, kristal

Densitas : 1,535 kg/m³

Panas Pembentukan : -252,8 kJ/kmol

8) Toluena

Rumus Kimia : C_7H_8

Titik Didih	: 110,6 °C
Wujud (25°C)	: Cair
Berat Molekul	: 92,13 Kg/Kmol
Densitas	: 0.866 Kg/m ³
Entalpi pembentukan	: 11,99 kJ/mol

e. Mekanisme Pembentukan Furfural

Furfural dibentuk dari pentosan yang dihasilkan dari biomassa, terdiri dari 2 tahap reaksi, yaitu hidrolisis dan dehidrasi menggunakan bantuan katalis asam, misalnya: asam sulfat.

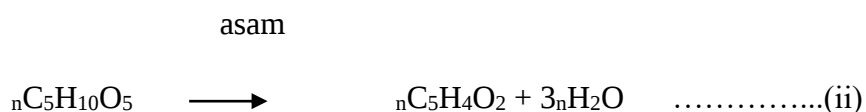
Reaksi yang terjadi pada proses pembuatan Furfural adalah reaksi hidrolisa pentosan menjadi pentosa yang diikuti reaksi dehidrasi dari pentosa menjadi furfural. Proses pembuatan furfural dengan proses *supra yield* berlangsung pada fase padat-cair, pada suhu 206°C dan tekanan 18 atm. (Arnold and Buzzard, 2003). Reaksi pembentukan furfural terjadi saat pentosan ditambah katalis asam dan dipanaskan. Katalis asam ini akan mempercepat reaksi. Ketika dipanaskan pada suhu 206° C, dan tekanan 18 atm didalam reaktor terjadi reaksi hidrolisis pentosan yang terkandung di dalam tandan kosong kelapa sawit menjadi pentosa, serta reaksi dehidrasi pentosa menjadi furfural.

Tahapan reaksi yang terjadi selama proses pembuatan furfural adalah sebagai berikut (Arnold and Buzzard, 2003). Mekanisme Reaksi :

1. Hidrolisis pentosan menjadi pentosa:



2. Dehidrasi pentosa membentuk Furfural:



f. Kinetika Reaksi

Menurut Arnold & Buzzard (2003), didapatkan kinetika reaksi pembentukan furfural adalah sebagai berikut:



Pada proses pembuatan furfural didapatkan harga sebesar :

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

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

Keterangan:

k_0 = konstanta laju reaksi pembentukan pentosa (/jam)

k_1 = konstanta laju reaksi pembentukan furfural (/jam)

C_H = konsentrasi hidrogen pada suhu 20 °C (gram/liter)

C_{Pe} = konsentrasi pentosa (gram/liter)

T = temperatur (K)

Reaksi pembentukan Furfural:



Konversi Pentosa menjadi Furfural: 80%

Konversi Pentosan menjadi pentosa: 80%

Waktu tinggal reaksi: 1 jam reaksi

g. Tinjauan Termodinamika

Suatu reaksi dapat dikatakan reaksi eksotermis (melepaskan panas) atau endotermis (memerlukan panas) dapat dilihat dari perhitungan :



Dari yaws,1999, didapatkan data:

$$\Delta H_f 25^\circ\text{C} (\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_4) : - 844 \text{ kJ/Mol}$$

$$\Delta H_f 25^\circ\text{C} (\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5) : - 1063 \text{ kJ/Mol}$$

$$\Delta H_f 25^\circ\text{C} (\text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2) : -151,04 \text{ kJ/Mol}$$

$$\Delta H_f 250^\circ\text{C} (\text{H}_2\text{O}) : -241,80 \text{ kJ/Mol}$$

- Reaksi 1

$$\begin{aligned} \Delta H_{f \text{ Reaksi 1}} &= \sum \Delta H_f^\circ(\text{produk}) - \sum \Delta H_f^\circ(\text{reaktan}) \\ &= \Delta H_f (\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5) - (\Delta H_f (\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_4) + \Delta H_f (\text{H}_2\text{O})) \\ &= -1063 - (-844 + (-241,80)) \\ &= 22,8 \text{ kJ/ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{pentosan}} &= \int_{305}^{295} -40,312 + 7,5846 \cdot 10^{-01} T^1 \\ &= -1318,546 \text{ J / mol} \\ &= -1,318546 \text{ kJ/ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{air}} &= \int_{305}^{295} 33,933 - 8,4186 \cdot 10^{-03} T + 2,9906 \cdot 10^{-05} T^2 - 1,7825 \cdot 10^{-08} \\ &\quad T^3 + 3,6934 \cdot 10^{-12} T^4 \\ &= -235,587 \text{ J/mol} \\ &= -0,235587 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta H_f \text{ reaktan} &= \Delta H_{\text{pentosan}} + \Delta H_{\text{air}} \\
&= -1,318546 + (-0,235587) \\
&= -1,554133 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta H_f \text{ produk} &= \int_{298}^{479} 354,64 \, dT \\
&= 64189,84 \text{ J/mol} \\
&= 64,18984 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta H_{\text{total}} &= \Delta H_f \text{ reaktan} + \Delta H_{fR1} + \Delta H_f \text{ produk} \\
&= -1,554133 \text{ kJ/mol} + 22,8 \text{ kJ/mol} + 64,18984 \text{ kJ/mol} \\
&= 85,435707 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

Pada reaksi 1 ΔH_{fR} positif maka reaksi yang terjadi adalah reaksi endotermis atau membutuhkan panas.

- Reaksi 2

$$\begin{aligned}
\Delta H_f \text{ Reaksi2} &= \sum \Delta H_f^\circ (\text{produk}) - \sum \Delta H_f^\circ (\text{reaktan}) \\
&= \Delta H_f (\text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2) + [\Delta H_f (\text{H}_2\text{O}) \times 3] - \text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5 \\
&= -151,04 + [(-241,80 \times 3)] - (-1063) \\
&= 186,56 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta H_f \text{ reaktan} &= \int_{298}^{479} 354,64 \, dT \\
&= 64189,84 \text{ J/mol} \\
&= 64,18984 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta h_{\text{furfural}} &= \int_{298}^{479} 66,792 + 7,0755 \cdot 10^{-01} T - 1,8082 \cdot 10^{-03} T^2 + 1,9630 \cdot 10^{-06} T^3 \, dT \\
&= 33516,461 \text{ J./mol} \\
&= 33,516461 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta H_{\text{air}} &= \int_{298}^{479} 33,933 - 8,4186 \cdot 10^{-3} T + 2,9906 \cdot 10^{-5} T^2 - 1,7825 \cdot 10^{-8} T^3 + 3,6934 \cdot 10^{-12} T^4 \\
&= 6199,104 \text{ J/mol} \\
&= 6,199104 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta H_f \text{ produk} &= \Delta H_{\text{furfural}} + \Delta H_{\text{air}} \\
&= 33,516461 \text{ kJ/mol} + 6,199104 \text{ kJ/mol} \\
&= 39,715561 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta H_{\text{total}} &= \Delta H_f \text{ reaktan} + \Delta H_{\text{R2}} + \Delta H_f \text{ produk} \\
&= 64,18984 \text{ kJ/mol} + 186,56 \text{ kJ/mol} + 39,715561 \text{ kJ/mol} \\
&= 290,465401 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

Karena harga ΔH_r positif maka reaksi yang terjadi adalah endotermis atau membutuhkan panas.

Reaksi di atas termasuk reaksi irreversible atau searah, hal itu dapat dibuktikan dengan perhitungan di bawah ini :

Data diambil dari yaws,1999 :

$$\Delta G_{25^\circ\text{C}} \text{ C}_5\text{H}_8\text{O}_4 = -113.610 \text{ J/mol}$$

$$\Delta G_{25^\circ\text{C}} \text{ C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5 = -233.240 \text{ J/mol}$$

$$\Delta G_{25^\circ\text{C}} \text{ C}_5\text{H}_4\text{O}_2 = -100.270 \text{ J/mol}$$

$$\Delta G_{25^\circ\text{C}} \text{ H}_2\text{O} = -51.120 \text{ J/mol}$$

- Reaksi 1

$$\begin{aligned}
\Delta G_1 &= \sum \Delta G^\circ_{(\text{produk})} - \sum \Delta G^\circ_{(\text{reaktan})} \\
&= \Delta G_{25^\circ\text{C}} \text{ C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5 - (\Delta G_{25^\circ\text{C}} \text{ C}_5\text{H}_8\text{O}_4 + \Delta G_{25^\circ\text{C}} \text{ H}_2\text{O}) \\
&= -233.240 - (-113.610 + (-51.120))
\end{aligned}$$

$$= -68.510 \text{ J/ Mol}$$

Perhitungan harga ketetapan kesetimbangan (K) dapat di tinjau dari rumus berikut:

Dari Smith, 2001, didapat rumus:

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

ΔG° = Energi Gibbs standar, kJ/mol

R = tetapan gas ideal (8,314 j/mol K)

T =Temperatur, K

K = Konstanta Kesetimbangan

$$\ln K_{25^\circ\text{C}} = \frac{-\Delta G}{RT}$$

$$\ln K_{25^\circ\text{C}} = \frac{-(-68,510)}{8,314 \times 298}$$

$$K_{25^\circ\text{C}} = 1,021.10^{12}$$

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

$$\ln \frac{K_{479}}{1,021 \cdot 10^{12}} = -\frac{85435,707}{8,314} \left[\frac{1}{479} - \frac{1}{298} \right]$$

Pada reaksi 1 diperoleh harga $K \gg 1$, maka reaksi berjalan kearah kanan (*irreversible*).

- Reaksi 2

$$\Delta H_{G1} = \sum \Delta G^\circ_{(produk)} - \sum \Delta G^\circ_{(reaktan)}$$

$$= (\Delta G_{298} \text{ C}_5\text{H}_4\text{O}_2 + (\Delta G_{298} \text{ H}_2\text{O} \times 3)) - \Delta G_{298} \text{ C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$$

$$= (-100.270 + (-51.120 \times 3)) - (-233.240) = -20.390 \text{ J/ Mol}$$

$$\ln K_{298} = \frac{-\Delta G}{RT}$$

$$\ln K_{298} = \frac{-(-20,390)}{8,314 \times 298}$$

$$K_{298} = 3,751.10^3$$

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

$$\ln \frac{K_{479}}{3,751 \cdot 10^3} = -\frac{290465,401}{8,314} \left[\frac{1}{479} - \frac{1}{298} \right]$$

$$K_{1 T_{operasi}} = 6,512.10^{22}$$

Pada reaksi 1 diperoleh harga $K \gg 1$, maka reaksi berjalan ke arah kanan.

h. Tinjauan Proses Secara Umum

Proses yang terjadi pada pembuatan furfural adalah proses hidrolisa dan dehidrolisa. Hidrolisa dapat terjadi pada senyawa organik maupun anorganik dimana air akan menyebabkan dekomposisi, hidrogen masuk kedalam salah satu komponen dan hidroksil masuk ke komponen lainnya.



Untuk senyawa anorganik, hidrolisa biasanya merupakan kebalikan dari netralisasi. Sedangkan untuk senyawa organik hidrolisa merupakan *broaden*, termasuk diantaranya adalah inversi gula, pemecahan protein, spesifikasi lemak dan tahapan terakhir *grignard*.

Hidrolisa dapat dibagi menjadi empat tipe, yaitu:

1. Hidrolisa murni

Disebut hidrolisa murni apabila hanya air yang digunakan dalam reaksi hidrolisa. Hidrolisa ini banyak digunakan dalam sintesa *grignard*.

2. Hidrolisa asam

Dalam hidrolisa ini digunakan larutan asam baik encer maupun pekat, untuk mempercepat reaksi hidrolisa. Hidrolisa asam ester-ester asetat menjadi semacam bukti dasar teori katalis. Hidrolisa ester-ester asetat biasanya untuk menunjukkan efek asam terhadap kandungan ion hidrogen. Asam hidroklorida dan asam sulfat adalah asam yang biasanya digunakan baik dalam skala laboratorium maupun dalam skala komersial asam-asam tersebut digunakan dari konsentrasi yang sangat tinggi sampai konsentrasi yang sangat rendah.

3. Hidrolisa alkali

Hidrolisa ini menggunakan basa baik encer maupun pekat, untuk mempercepat reaksi hidrolisa. Adapun tiga kasus hidrolisa dengan alkali, yaitu:

- a) Penggunaan alkali dalam konsentrasi rendah. Biasanya digunakan dalam hidrolisa ester atau senyawa lainnya yang sejenis.
- b) Penggunaan larutan alkali dibawah tekanan atmosfer dan dalam konsentrasi yang tinggi.
- c) Penggunaan campuran senyawa organik dengan natrium hidroksida atau kalium hidroksida

4. Hidrolisa dengan enzim

Hidrolisa ini tergantung pada enzim yang digunakan untuk hidrolisa. Kebanyakan dilakukan pada proses biokimia, seperti dalam industri alkohol digunakan enzim maltase untuk mengkonversi glukosa dan maltosa untuk mengkonversi gula tetes.

BAB XI KESIMPULAN

Prarancangan Pabrik Furfural dari Tandan Kosong Kelapa Sawit yang meliputi pengadaan alat-alat produksi, penerapan teknologi, bahan baku, proses produksi, hasil produksi dan tenaga kerja maka pabrik Furfural dengan kapasitas produksi 750 ton/tahun menarik untuk dikaji lebih lanjut.

Dari segi ekonomis, Prarancangan Pabrik Furfural dari Tandan Kosong Kelapa Sawit cukup menguntungkan dengan ketentuan sebagai berikut :

- | | |
|------------------------------|--------------------------------|
| 1. Kapasitas Produksi | : 750 ton/tahun |
| 2. Lokasi Pabrik | : Mamuju Utara, Sulawesi Barat |
| 3. Bentuk Perusahaan | : Perseroan Terbatas (PT) |
| 4. Jumlah Tenaga Kerja | : 226 orang |
| 5. Masa Konstruksi | : 2 tahun |
| 6. Investasi Total | : Rp 649.872.036.328,- |
| 7. Hasil Penjualan Per tahun | : Rp 1.655.167.500.000,- |
| 8. Interest Rate of Return | : 10,47 % |
| 9. Break Event Point | : 50,90 % |
| 10. Pay Out Time | : 6,23 tahun |

Dari hasil tersebut diatas maka Prarancangan Pabrik Furfural dari Tandan Kosong Kelapa Sawit layak dan dapat dilanjutkan ke tahap perancangan sesuai dengan prosedur yang telah direncanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arnold, D.R and Buzzard, J. L., 2003, A Novel Process for Furfural Production ,
Proceedings of the south African Chemical Engineering.
- Bernard, R. P. M, 1982. Method for Production of Furfural From Vegetable Matter
- Brownell, L.E. and Young, E.H., 1979, "Process Equipment Design," John Wiley
and Sons, Inc., New York.
- Coulson, J.M. And Richardson, J.F., 1985, "Introduction to Chemical Engineering
Design", volume 6, Pergamon Press, Oxford.
- Darnoko, Guritno, P., Sugiharto, A dan Sugesty, S., (1995), Pembuatan Pulp Dari
Tandan Kosong Sawit Dengan Penambahan Surfaktan. Jurnal Penelitian
Kelapa Sawit. 3(1), pp. 75-87
- Degremont., 1991, "Water Treatment Handbook". Sixth Edition. France :
LavoisierPublishing.
- Dirattanhun, 2008, Pemanfaatan Limbah dan Hasil Samping Kelapa Sawit.
Direktorat Jenderal Perkebunan, 2014, Statistik Perkebunan Indonesia
Komoditas Kelapa Sawit,Direktorat Jenderal Perkebunan, Jakarta.
- Foust, A.A., 1980, "Principles of Unit Operation", 2nd edition, John WileyAnd
Sons Inc., New York.
- Geankoplis, 1993, Transport Processes and Unit Operations, 3th-ed, Pretice-hall
Inc., Englewood Clift, New Jersey
- Karl, J. Zeitsch, 1990. Process for Producing Furfural. Gremany. US PATENT:
4,912,237
- Kawamura, S. 1991. Integrated Design of Water Treatment Facilities. Jhon Milley
& Sons, Inc. New York.
- Kern, 1965, Process Heat Transfer, McGraw-Hill Book Company, Singapore
- Levenspiel, O., 1999, "Chemical Reaction Engineering", 3rd-ed., pp. 94-96; 208-
213, John Wiley & Sons, New York.
- Medeiros David J, 1985. Furfural Process. Los Angeles, Calif: Atlantik Richfield
company. US PATENT 4,533,743

Metcalf and Eddy. 1991. Wastewater Engineering. Mc Graw Hill, New York.

Perry, R.H. and Green, D.W., 2008, “Perry’s Chemical Engineers’ Handbook”, 8th-ed., pp. 2.24; 2-491 – 2-495, McGraw-Hill Book Company, New York.

Petters, 2003, Plant Design & Economics for Chemical Engineers, 4th-ed, McGraw-Hill Book Company,

Purwito dan Anita, F., 2005, Pemanfaatan Limbah Sawit dan Asbuton untuk Bahan Pencegah Serangan Rayap Tanah, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.

Reklaitis, 1983, Introduction to Material and Energy Balance, Kanada

Walas, S.M., 1990, “Chemical Proses Equipment”, Department of Chemical and Petroleum Engineering University of Kansas.

Wijarnako, A., Witono, J, A dan Wiguna, M, S, 2006, Tinjauan Komprehensif Perancangan Awal Pabrik Furfural Berbasis Ampas Tebu di Indonesia, Komunitas Migas Indonesia.

Win David Tin, 2005. Furfural-Gold from Garbage. Bangkok: Faculty of science and technology, Assumption University Bangkok

www.badanpusatstatistik.com

www.bi.go.id

www.finance.detik.com

www.matche.com

Yaws, C.L., 1999, “Chemical Properties Handbook”, pp. 291-294; 317-320, McGraw-Hill Book Company, New York.

