PRARANCANGAN PABRIK FURFURAL DARI TEMPURUNG KELAPA MELALUI PROSES ZEITSCH DENGAN KAPASITAS 12.000 TON/TAHUN

Nanda Melani Ardianti[1,*], Emi Andikasari[1], Widya Septaningtyas Pratiwi[1], Bekti Palupi[1], Meta Fitri Rizkiana[1], Istiqomah Rahmawati[1], Boy Arief Fachri[1]

[1]Program Studi S1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan Tegalboto No.37, Jember 68121, East Java, Indonesia
*Corresponding Author: 201910401032@mail.unej.ac.id

Abstrak

Furfural ($C_5H_4O_2$) merupakan komponen yang banyak digunakan sebagai bahan baku tambahan pembuatan bahan bakar. Furfural merupakan hasil reaksi dari hemiselulosa ($C_5H_8O_4$) dan air (H_2O) dengan bantuan katalis asam sulfat (H_2SO_4) menjadi xylose ($C_5H_{10}O_5$) yang direaksikan kembali dengan asam sufat (H_2SO_4) sehingga menjadi furfural melalui proses hidrolisis dan dehidrasi. Reaksi hidrolisis antara hemiselulosa dengan air terjadi dalam mixed flow reactor, sedangkan reaksi dehidrasi xylose terjadi dalam plug flow reactor sehingga membentuk furfural dan air. Furfural kemudian dipisahkan dari pengotornya dalam menara kolom distilasi, dan didapatkan kemurnian akhir furfural 98%. Perancangan pabrik furfural memiliki kapasitas 12.000 ton/tahun. Perancangan pabrik ini akan didirikan di daerah Gaung, Kabupaten Indragiri Hilir, Riau dengan luas area sekitar 63 hektar. Pabrik furfural ini direncanakan berdiri dalam bentuk Perseroan Terbatas (PT) dengan jumlah karyawan 147 orang. Evaluasi ekonomi menunjukkan nilai Pay Out Time (POT) adalah 4,4 tahun, Rate of Return Investment (ROI) sebesar 13%, dan Break Even Point (BEP) sebesar 45%. Laba kotor dari penjualan produk sebesar Rp 1.361.568.444.353,67 dan laba bersih sebesar Rp 1.021.176.333.265,25. Berdasarkan hasil evaluasi ekonomi tersebut, maka pabrik furfural dari tempurung kelapa dengan katalis asam sulfat layak untuk didirikan.

Kata kunci: furfural, katalis asam sulfat, mixed flow reactor dan plug flow reactor

1. Pendahuluan

Mendiskripsikan pendahuluan dari dirancangnya pabrik. Pendahuluan meliputi latar belakang didirikannya pabrik, penentuan kapasitas, sumber bahan baku, lokasi pabrik dan organisasi.

Produk pertanian Indonesia pada umumnya hanya dijual dalam bentuk primer sehingga bernilai rendah dan rentan terhadap fluktuasi harga, karena harga bahan baku primer umumnya menurun sedangkan harga produk olahan cenderung meningkat. Pengembangan industri kimia ini ditekankan untuk memenuhi keperluan dalam negeri dengan pemanfaatan limbah dari sumber daya alam, seperti ampas tebu, tempurung kelapa, tongkol jagung dan limbah biomassa lainnya yang dapat digunakan untuk memproduksi furfural sebagai bahan bakunya (Vitaloka & Sari, 2020). Tempurung kelapa merupakan bahan baku yang potensial digunakan untuk produksi furfural. Hal ini dikarenakan Indonesia merupakan salah satu penghasil pohon kelapa terbesar di dunia (Nustini & Allwar, 2019). Di Indonesia, furfural banyak digunakan di beberapa industri diantarnya digunakan sebagai pelarut dalam industri perminyakan. Senyawa turunan furfural seperti 2-metilfuran (Sylvan) sebagai bahan penolong pada industri resin, furan sebagai bahan penolong pada industri cat, plastik, serat sintetis, farmasi dan herbisida. Seiring kemajuan teknologi, dikembangkan metode baru untuk memproduksi furfural dari bahan baku lain seperti tempurung

kelapa dan limbah pertanian lainnya untuk mengurangi ketergantungan pada bahan baku yang sulit didapatkan. Menurut Badan Pusat Statistik (2023) kebutuhan furfural di Indonesia terus meningkat dari tahun ketahun (Qomariyah, 2014). Perancangan pabrik ini direncanakan untuk memenuhi kebutuhuan dalam negeri dan mengurangi ketergantungan impor furfural dari luar negeri. furfural yang dipakai di Indonesia diimpor dari berbagai negara seperti Kanada, China, Perancis, Jepang, India, dan Jerman. Perkiraan kebutuhan furfural di Indonesia ditentukan dengan analisis potensi kapasitas produksi untuk fasilitas manufaktur baru yang rencana dibangun tahun 2028 diperkirakan dengan persamaan berikut:

$M_{2028} = (M_{Konsumsi\ 2028} + M_{Ekspor\ 2028}) - (M_{Produksi\ 2028} + M_{Impor\ 2028})$ …(1.1)

$M_{2028} = (11.739,864+129,398)-(0+0)$

M2028 = 11.869,263 ton/tahun

Kapasitas produksi ditentukan dengan menggunakan pertumbuhan rata – rata. Proyeksi data impor dan ekspor dibutuhkan agar kapasitas pabrik dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri sehingga menurunkan nilai ekspor dari negara lain. Berikut data impor dan ekspor tahun 2018 – 2022 menurut Badan Pusat Statistika (BPS) yang tertera pada tabel dibawah.

Tabel 1. Data Ekspor dan Impor Furfural di Indonesia

Tahun	Ekspor (Ton/Tahun)	Impor (Ton/Tahun)
2018	2,69	1542,26
2019	8,21	1146,69
2020	7,63	561,75
2021	8,58	1027,15
2022	9,36	2261,39

Berdasarkan banyaknya kebutuhan furfural di Indonesia, pendirian pabrik furfural memiliki potensi yang besar. Dengan dasar kebutuhan impor di Indonesia dan ketersediaan bahan baku, maka akan direncanakan pendirian pabrik furfural dari 100% peluang kapasitas sebesar 12.000 ton/tahun.

2. Deskripsi Proses

Terdapat dua proses yang berbeda dalam memproduksi furfural yang dapat dilihat pada Tabel 2, sehingga dapat disimpulkan bahwa jenis proses yang dipilih sebagai proses pembuatan furfural pada pabrik ini ialah proses zeitsch. Hal tinggal cukup singkat sehingga dapat mengurangi hasil produk samping akibat polimerisasi asam sulfat, dan konversi hemiselulosa yang tinggi.

Tabel 2. Perbedaan proses produksi senyawa furfural

Parameter	Proses Quaker Oats	Proses Zeitsch
npan	mpurung elapa	mpurung elapa
ondisi Operasi	mosferik, 128-0 oC	aktor 1 = 1 atm, oC aktor 2 = 68 n, 200-300 oC
mlah Reaktor		
onversi Reaksi	%	aktor 1 = 90% aktor 2 = 85%
oduk Samping	dikit	bih sedikit
aktu Tinggal	am	aktor 1 = 1 jam
murnian	stilasi	straksi dan stilasi
rfural	eotropik	
talis	am Sulfat 2SO4)	am Sulfat 2SO4)

Proses pembuatan furfural dapat dibagi menjadi tiga tahapan, berikut uraian proses furfural:

a. Tahap Perlakuan Awal

Tempurung kelapa kering sebagai bahan baku utama pembuatan furfural yang berasal dari gudang penyimpanan (F-110) dibawa menggunakan belt conveyor (J-111) ke dalam crusher (C-112) untuk dicacah. Bahan tersebut diayak dengan menggunakan screen hingga menghasilkan serbuk tempurung kelapa dengan ukuran kurang lebih 3 mm. Hasil serbuk tempurung kelapa dibawa menggunakan belt conveyor (J-113) yang selanjutnya melewati bucket elevator (J-114) menuju reaktor steam explotion (D-210). Tangki steam explotion (D-210) berguna untuk memecah serat lignoselulosa. Alat ini menggunakan steam yang diinjeksikan sampai tekanan menjadi 12,83 atm dengan suhu 191°C. Setelah 15 menit, reaktor secara spontan diturunkan tekanannya oleh operator yang berdiri pada jarak yang aman, dan slurry yang meledak dengan uap dialirkan keluar menuju centrifuge (H-121). Slurry yang keluar dari tangki steam explotion (D-210) akan dicuci dan dipisahkan antara senyawa selulosa dan hemiselulosa hingga dihasilkan fraksi padat yang terdiri dari selulosa, lignin dan abu, serta fraksi cairnya adalah

hemiselulosa yang terlarut dalam air. Fraksi padat akan dialirkan keluar menuju unit pengolahan selulosa. Untuk senyawa hemiselulosa akan dialirkan menuju evaporator (V-130) untuk mengurangi debit air melalui proses penguapan dengan suhu operasi mencapai 100°C. Limbah debit air yang diuapkan menuju kondensor (E-132) untuk menukar panas limbah dalam fase uap menjadi fase slurry akan menuju cooler untuk didinginkan dari suhu 100°C ke 30°C, kemudian dialirkan ke reaktor 1 (R-210) untuk proses hidrolisis. Proses hidrolisis ini memerlukan suhu operasi 70°C dengan penambahan asam sulfat 98% digunakan untuk mengikat hemiselulosa yang terkandung dalam slurry. Asam sulfat ($H2SO4$) sebagai katalis dipompa (L-141) ke dalam mixer (M-142) yang kemudian diencerkan dengan air ($H2O$) sehingga konsentrasi yang dihasilkan menjadi 2%.

b. Tahap Reaksi

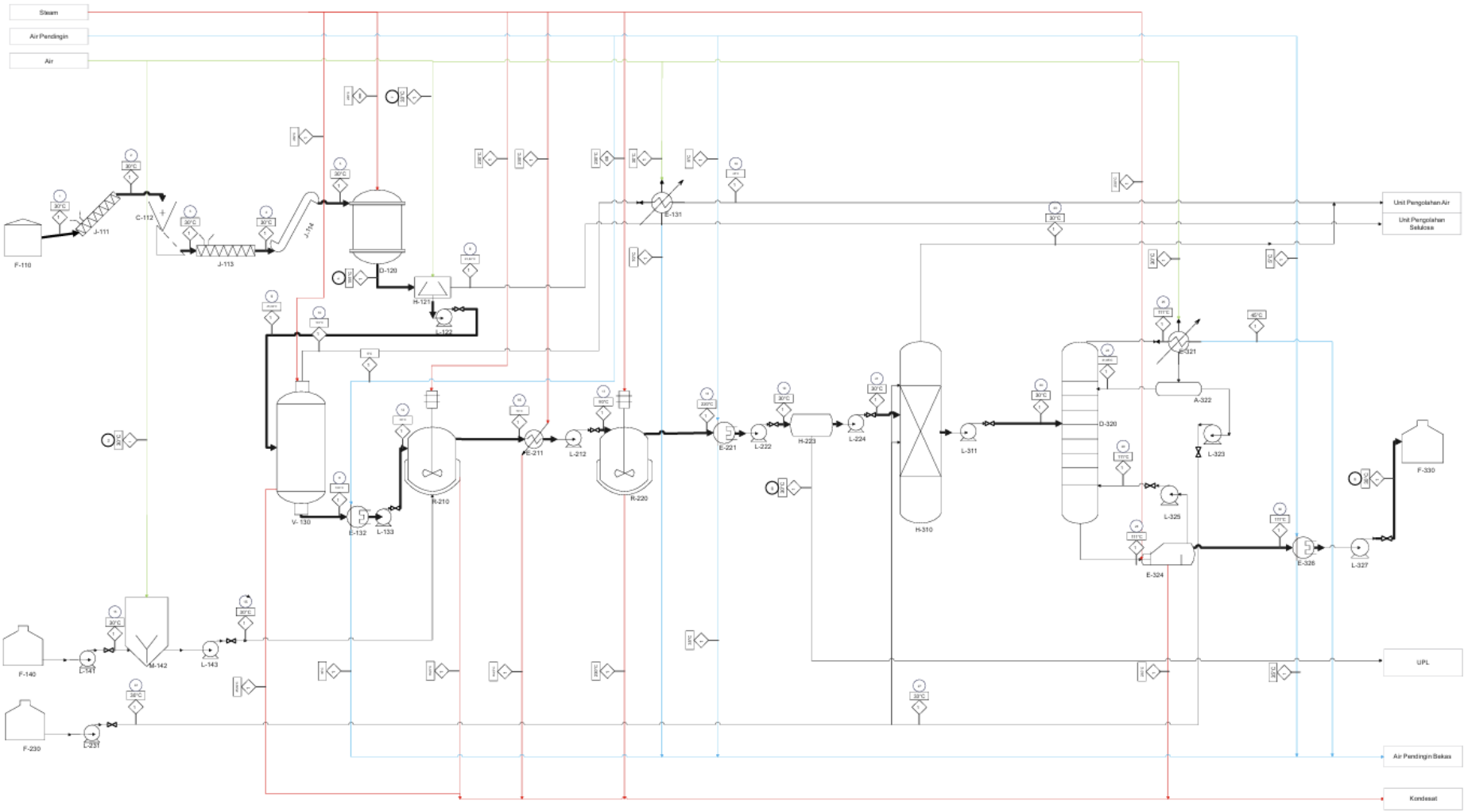
Dalam reaktor tangki berpengaduk kontinyu (CSTR) terjadi reaksi antara slurry dan asam sulfat dengan konsentrasi 2% dengan tekanan 1 atm selama 1 jam. Reaksi yang terjadi dalam reaktor tersebut dapat dilihat sebagai berikut

- Reaksi kimia yang terjadi pada proses hidrolisis Hemiselulosa Xylose:
  $(C_5H_8O_4)_s + nH_2O_{(l)} \rightarrow n(C_5H_{10}O_5)_{(l)}$
  Hasil dari reaktor dialirkan menuju heater untuk menaikkan suhu dari 70°C menjadi 90°C, setelah itu xylose menuju reaktor 2 (R-220) untuk proses dehidrasi dengan suhu operasi 230°C.
- Reaksi kimia yang terjadi pada proses dehidrasi Xylose menjadi Furfural:
  $(C_5H_{10}O_5)_{(s)} \rightarrow (C_5H_4O_2)_{(l)} + (H_2O)_{(l)}$
  (Budiwiyanan, 2018)

Hasil dari reaktor 2 (R-220) masih mengandung zat pengotor lainnya seperti hemiselulosa, sisa xylose, air, lignin, abu dan asam sulfat. Hasil filtrat yang terjadi di reaktor (R-22) difiltrasi melewati separator (H-223) untuk memisahkan antara produk dan pengotor. Filtrat sebelumnya telah diturunkan suhunya menggunakan cooler (E-221) dari 220°C menjadi 30°C menuju separator (H-223). Pemisahan tersebut adalah salah satu cara untuk proses pemurnian furfural sebagai produk.

c. Tahap Pemurnian

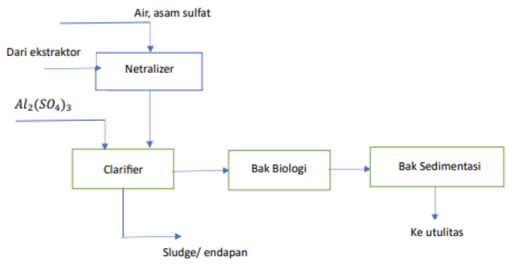
Limbah yang dihasilkan dari separator dialirkan menuju unit pengolahan limbah. Produk furfural yang dihasilkan dari separator (H-223) menuju ke ekstraktor (H-310) dengan penambahan larutan toluena untuk mengikat senyawa furfural dari asam sulfat. Kandungan pengotor lainnya dan air akan dialirkan menuju unit pengolahan limbah. Larutan toluena yang mengikat furfural akan dimurnikan dalam kolom distilasi (D-320). Proses pemurnian furfural dari impuritasi toluena dengan menggunakan suhu 110,6℃ dan tekanan 1 atm. Didalam furfural yang dimurnikan dari umpan, sehingga menghasilkan produk furfural dengan kemurnian 99%. Hasil atas yang sebagian besar berupa toluena dengan suhu 110,6℃ didinginkan dengan kondensor (E-321) hingga 31,85℃. Hasil yang keluar dari kondensor kemudian ditampung dengan akumulator (A-322), sebagiannya dipompa (L-323) kembali ke dalam kolom distilasi (D 320) dan sebagian lalu direcycle menuju ekstraktor. Hasil produk bagian bawah dibawa menuju kolom distilasi (D-320), lalu diumpankan melalui reboiler (L 324) dengan dipompa (E- 325) kembali ke kolom distilasi (D-320). Produk murni furfural 99% yang dihasilkan kemudian didinginkan sebelum masuk ke dalam tangki penyimpanan dari suhu 110,6ºC menjadi 30ºC menggunakan cooler (E-326). Furfural yang telah didinginkan kemudian dipompa (L-327) masuk ke dalam tangki penyimpanan (F- 330) dan siap untuk dijual.



Gambar 1. *Flow Diagram Process* Pabrik Furfural

3. Utilitas

Utilitas merupakan fasilitas yang mendukung operasi utama suatu sistem dalam pabrik. Utilitas berfungsi menyediakan kebutuhan penunjang suatu proses produksi. Utilitas pabrik furfural dengan kapasitas 12.000 ton/tahun terbagi menjadi lima unit, yaitu 1. Unit pengolahan air, 2. Unit pengadaan steam, 3. Unit pengadaan tenaga listrik, 4. Unit bahan bakar, dan 5. Unit pengolahan limbah. Air di dalam pabrik memegang peran penting dan harus memenuhi persyaratan tertentu yang di sesuaikan dengan masing masing keperluan di dalam pabrik. Air yang telah diproses selanjutnya digunakan sebagai kebutuhan utama dalam proses produksi serta domestic pabrik seperti kebutuhan umpan boiler, air pendingin, air proses, serta air sanitasi atau air bersih. Pada pabrik furfural dari tempurung kelapa ini kebutuhan air diperoleh dari air Sungai. Penggunaan air Sungai sebagai sumber utama air dengan pertimbangan sebagai berikut; 1. Air Sungai adalah sumber air utama memiliki kontinuitas yang relatif tinggi, sehingga tidak akan terjadi kekurangan air. 2. Dalam pengolahan air Sungai relative sangat mudah dan sederhana serta biaya yang diperlukan dalam proses pengolahannya relatif mudah. 3. Lokasi Sungai yang tidak jauh dari pabrik. 4. Kondisi lingkungan dan geografis yang memadai. Steam di dalam pabrik digunakan untuk media pemanasan suatu proses. Air pendingin ini digunakan sebagai media pendingin pada alat pertukaran panas (heat exchanger) dari alat yang membutuhkan pendinginan. Air proses biasanya digunakan untuk proses pengenceran bahan baku atau produk. Air sanitasi merupakan air yang disediakan sebagai kebutuhan air bagi karwawan di area lingkungan pabrik yang meliputi perkantoran, laboratorium, perumahan, kantin, musholla/masjid, dan lain-lain. Air sanitasi merupakan jenis air yang didak mengandung bakteri atau kotoran serta memiliki kandungan mineral didalamnya. Total kebutuhan air yang diperlukan pabrik sebanyak 2016757,329 kg/jam. Tenaga listrik merupakan satu dari beberapa faktor yang sangat penting untuk menunjang berjalannya industri. Tenaga listrik yang digunakan dalam perancangan pabrik furfural ini didapatkan dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) dan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD). Total kebutuhan listrik yang diperlukan pabrik sebanyak 446,014 kW/jam. Pada pabrik furfural, bahan bakar yang digunakan adalah antrachite coal dan diesel fuel. Antrachite coal dipilih sebagai bahan bakar pemanasan pada boiler dikarenakan bahan ini mengandung karbon paling tinggi dibandingkan dengan batu bara lainnya serta pembakaran yang lebih stabil dan lebih bersih dari asap maupun emisi berbahaya. Sedangkan, diesel fuel dipilih sebagai bahan bakar penggerak generator untuk menghasilkan energi listrik. Total kebutuhan antrachite coal yang diperlukan pabrik sebanyak 18062,689 kg/jam dan diesel fuel sebanyak 54,842 kg/jam. Limbah yang dihasilkan suatu pabrik perlu diolah terlebih dahulu agar tidak berdampak buruk bagi lingkungan, makhluk hidup, masyarakat sebelum dibuang ke lingkungan, hal ini juga termasuk upaya pencegahan polusi lingkungan. Limbah yang dihasilkan setiap industri memiliki karakteristik yang berbeda-beda, bergantung pada proses produksi yang dipakai.



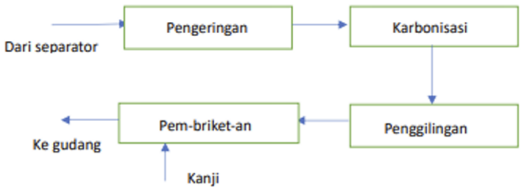
Gambar 2. Proses Pengolahan Limbah Cair.

Limbah yang dihasilkan pabrik furfural terbagi menjadi dua, yakni limbah cair dan slurry.

a. Limbah Cair

Limbah yang dihasilkan dari pabrik furfural adalah limbah dari ekstraktor yang mengandung asam dan senyawa organik yang lain. Asam dan senyawa organic yang terlarut dalam cairan induknya. Limbah cair ini diolah dengan cara dikoagulasi dengan menambahkan $Al_2(SO_4)_3$, menghasilkan diendapkan.

b. Limbah Slurry



Gambar 3. Proses Pengolahan Limbah Slurry

Limbah slury berasar dari separator yang tidak penyaringan. Limbah ini dikeringkan dengan menggunakan matahari langsung kemudian pengarangan (karbonisasi). mengalami Setelah pengarangan, limbah ini dihaluskan sampai halus

dengan tujuan mendapatkan besar butiraan yang sama sehingga kerapatan yang dihasilkan pada proses selanjutnya besar. Kemudian slury ditambahkan perekat berupa kanji untuk selanjutnya mengalami proses pembriketan.

4. Analisis Ekonomi

Evaluasi ekonomi digunakan untuk mementukan layak atau tidaknya mendirikan pabrik. Evaluasi ekonomi dilakukan untuk mengetahui besarnya keuntungan yang dihasilkan dari kapasitas. produksi tertentu. Kelayakan berdirinya pabrik furfural ditentukan dari beberapa komponen yang tercantum pada tabel dibawah ini. Tabel berikut menunjukkan hasil evaluasi ekonomi yang dilkukan untuk pabrik asam perasetat:

Tabel 3. Tabel kelayakan ekonomi pabrik furfural

No.	Parameter	Hasil	Kelayakan	Kesimpulan
1	*Annual Cash Flow (ACF)*	18%	Lebih besar dari bunga bank (6,25%<)	Pabrik layak didirikan
2	*Pay Out Time (POT)*	4,4	POT < 5	Pabrik layak didirikan
3	*Net Profit Over Total*	$628.271.647,35	>(TCT+bunga pinjaman)	Pabrik layak didirikan
4	*Total Capital Sink (TCS)*	$656.427.717,69	>TCI	Pabrik layak didirikan
5	*Rate of Return (ROR)*	13%	6,25%<ROR	Pabrik layak didirikan
6	*Discounted Cash Flow*	20%	6,25%<DCF	Pabrik layak didirikan
7	*Break Even Point (BEP)*	45%	40%<BEP<50%	Pabrik layak didirikan

5. Kesimpulan

Berdasarkan pada uraian dan pembahasan empat bab sebelumnya yaitu lokasi pabrik furfural berada di daerah Gaung, Indragiri Hilir, Riau. Kapasitas produksi pabrik furfural sebesar 12.000 ton/tahun. Pabrik berdasarkan evaluasi layak didirikan ekonomi yang meliputi Annual Cash Flow (ACF) sebesar 18%, Pay Out Time (POT) sebesar 4,4 tahun, Net Profit Over Total Life of the Project (NPOTLP) sebesar $628.271.647,35, Total Capital Sink (TCS) sebesar $656.427.717,69, Rate Of Return (ROR) sebesar 13%, Discounted Cash Flow sebesar 20%, dan Break Even Point (BEP) sebesar 45%.

Daftar Pustaka

Alyusra, M. W., & Hb, G. (2024). Implementasi Tanggung Jawab Pemerintah Daerah Indragiri Hilir Dalam Menjaga Stabilitas Harga Kelapa Berdasarkan Peraturan Daerah Kabupaten Indragiri Hilir Nomor 3 Tahun 2018 Tentang Tata Niaga Kelapa (Studi Kasus Desa Pekan Kami , Kec Tembilahan Hulu,. 10(April), 814–826.

American Petroleum Institute. (2012). API 650 Welded Steel Tanks for Oil Storage. Policy,552(3),449.

Asiva Noor Rachmayani. (2015). Chemical Process Equipment.

Bangalore Ashok, R. P., Oinas, P., & Forssell, S. (2022). Techno-economic evaluation of a biorefinery to produce γ-valerolactone (GVL), 2 methyltetrahydrofuran (2-MTHF) and 5-hydroxymethylfurfural (5-HMF) from spruce. Renewable Energy, 190, 396–407.

Besley, L. M., & Bottomley, G. A. (1974). Vapour pressure of toluence from 273.15 to 298.15 K. The Journal of Chemical Thermodynamics, 6(6), 577–580.

BPS. (2023). Ekspor dan Impor Furfural di Indonesia. BPS.

Carl L. Yaws. (1999). Yaws_chemical_properties_handbook _pdf.pdf (p. 770).

Christie John Geankoplis, A. Allen Hersel, D. H. L. (2018). Transport Processes and Separation Process Principles.

Coniwanti, P., H, G. S., & Handayani, E. (2016). Pembuatan Furfural Dari Campuran Biomassa Ampas Tebu (Saccharum Officinarum L.) dan Tempurung Kelapa (Cocos Nucifera L.). Jurnal Teknik Kimia, 22(2), 37 45.

Couper, James R.; Penney, W. Roy; Fair, James R.; Walas, S. M. (2012). Chemical Process Equipment - Selection and Design (3rd Edition) - Knovel. In Elsevier.

Ehrnrooth, E. M. L. (1984). Change in pulp fibre density with acid-chlorite delignification. Journal of Wood Chemistry and Technology, 4(1), 91 109. Engineering, P. (n.d.). Plant Design and Economics for Chemical Engineers.

Gaw, W. J., Swinton, F. L., & Chemistry, A. (1967). Thermodynamic Properties of Binary Systems containing. 637–647.

Harris Hafidhuddin, M., & Fakhrurozi, M. (2022). Pra Rancangan Pabrik Furfural Dari Bagasse Kapasitas 20000 Ton/Tahun Pra Rancangan Pabrik.

Kearney, N. (2010). Bucket Elevator Design Guide. Kern, D. Q. (1983). Process Heat Transfeer.

Kusumo, P., S Biyono, & Tegar S. (2020). Isolasi Lignin dari Serbuk Grajen Kayu Jati (Tectona Grandis) dengan Metode Klasson. Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu Dan Aplikasi Teknik, 19(2), 130–139.

Mann, J. (1980). Transport processes and unit operations. In The Chemical Engineering Journal (Vol. 20, Issue 1, p. 82).

Margareth, H. (2017). The Chemistry and Technology of Furfural and its Many by-Products.

Matthews, J. B., Sumner, J. F., & Moelwyn Hughes, E. A. (1950). The vapour pressures of certain liquids. Transactions of the Faraday Society, 46, 797–803.

Mustain, C. &. (2022). Penetapan dan Peluang Kapasitas.pdf. Charcoal and Granular Activated Carbon to Improve Welfare of Watuduwur Village, Bruno, Purworejo Regency. Asian Journal of Innopation and Enterpreneurship, 4(3), 217–226. Perry, R. H. (1999).

Perry ' s Chemical Engineers ' Books Of Interest. In Perry's Chemical Handbook. Engineers Perry, R. H., & Green, D. W. (2008). Perry's Chemical Engineering Engineers' Handbook, 1–36. Plants, P. (n.d.). Applied Process Design (Vol. 1).

Qomariyah. (2014). Desain Proyek Pabrik Furfural Dengan Proses Supra Yields Menggunakan Katalis Asam Sulfat Dengan Kapasitas 1.800 Ton/Tahun Skripsi. In Angewandte Chemie International Edition, 6(11), 951–952.

Rachma, A. M. (2022). Desain Proyek Pabrik Furfural Dengan Proses Supra Yields Dari Limbah Ampas Tebu Menggunakan Katalis Asam Sulfat.

Rafdi, M. H. A., Ilminnafik, N., Djumhariyanto, D., Setyawan, D. L., Sutjahjono, H., Sanata, A., & Hardiatama, I. (2022). Uji variasi temperatur dan campuran bahan bakar terhadap karakteristik spray. Dinamika Teknik Mesin, 12(1), 78.

Rahim, M., & Nadir, M. (2015). Optimasi Waktu Hidrolisis Tandan Kosong Kelapa Sawit Menjadi Furfural Berbantukan Gelombang Mikro. Konversi, 4(2), 12.

Richardson's, C. dan. (n.d.). Chemical Engineering Design. Rocha, G. J. M., Martín, C., da Silva, V. F. N., Gómez, E. O., & Gonçalves, A. R. (2012). Mass balance of pilot-scale pretreatment of sugarcane bagasse by steam explosion followed by alkaline delignification. Bioresource Technology, 111, 447–452.

Shallcross, D. (2023). Process Equipment Design. In Chemical Engineering Explained: Basic Concepts Novices (pp. 324–346).

Sindhuwati, C., & Hapsari, Y. M. (2023). Studi Literatur: Potensi Produksi Furfural Dari Proses Hidrolisis Dan Dehidrasi Senyawa Pentosan Pada Limbah Tempurung Kelapa. Distilat: Jurnal Teknologi Separasi, 9(3), 190 199.

Technoscientia, J. T. (2016). Sintesis furfural dari kulit buah kapuk randu dengan katalisator asam khlorida. 9(1).

Toğrul, H., & Arslan, N. (2003). Flow properties of sugar beet pulp cellulose and intrinsic viscosity-molecular weight relationship. Carbohydrate Polymers, 54(1), 63–71.

Tuas, M. A. (2017). Optimasi Pembuatan Furfural dari Tempurung Kemiri (Aleurites moluccana) melalui Hidrolisis Asam. Jurnal Purifikasi, 17(2), 77–86.

Ummah, M. S. (2019). Chemical Engineering Design. Sustainability (Switzerland), 11(1),1–14.

Vaidhyanathan, V. S. (1980). Transport phenomena. In Experientia (Vol. 36, Issue 11).

Vitaloka, I. D., & Sari, D. M. (2020). Prarancangan Pabrik Furfural Dari Tongkol Jagung Dengan Proses Dehidrasi Pentosa Kapasitas 5.000 Ton/Tahun. Jurnal Akhir Teknik Kimia, 3(1), 47–51.

Yaws, C. L. (2014). Thermophysical Properties of Chemicals and Hydrocarbons: Second Edition. In Thermophysical Properties of Chemicals and Hydrocarbons: Second Edition.