

PRA RANCANGAN PABRIK 5-HYDROXYMETHYLFURFURAL (5-HMF) DARI ECENG GONDOK DENGAN KAPASITAS PRODUKSI 2.000 TON/TAHUN

Daffa Hafizaulhaq Azizi, Yasmin Annisa¹, Rizqi Fitria Damayanti

Program studi S1 Teknik Kimia, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember
Jl. Kalimantan No.37, Sumbersari, Jember 68121 Indonesia
e-mail : daffaazizi16@gmail.com

Abstrak

Perencanaan pabrik 5-HMF dengan kapasitas 2.000 ton/tahun akan didirikan di Kariangau, Kalimantan Timur dengan luas lahan 70 hektar. Pabrik beroperasi selama 330 hari/tahun dan akan dibangun pada tahun 2030. Pendirian pabrik didasarkan pada kebutuhan 5-HMF yang meningkat untuk menghasilkan sumber karbon dan energi alternatif.

Produksi 5-HMF menggunakan proses dehidrasi. Bahan baku eceng memasuki proses steaming untuk menghilangkan kandungan lignin dan hemiselulosa yang ada pada eceng gondok, steamer dialiri dengan uap jenuh bertekanan tinggi 22 bar pada suhu 120°C selama 3 menit untuk memisahkan dengan selulosa yang akan dihidrolisis untuk memecah selulosa yang ada pada eceng gondok menjadi glukosa. Proses hidrolisis berlangsung selama 90 menit dengan suhu operasi 100°C. Hidrolisat kemudian dipompa menuju filter untuk dilakukan penyaringan yang berfungsi memisahkan ampas eceng gondok dengan glukosa hasil hidrolisis. Glukosa dipompa menuju flash tank untuk meningkatkan kemurnian dengan memisahkan antara glukosa dan larutan H₂SO₄. Glukosa hasil pemisahan dengan flash tank dialirkan menuju reaktor dehidrasi. Pada proses ini glukosa dikontakan dengan katalis berupa HY zeolite untuk membantu konversi menjadi 5-HMF, konversi yang terbentuk sebesar 82%. Produk 5-HMF yang terbentuk dialirkan menuju flash tank untuk dimurnikan dengan memisahkan 5-HMF dengan air. Produk yang didapatkan 5-HMF dengan kemurnian 98%

Bentuk perusahaan adalah persero terbatas (PT) dengan jumlah karyawan sebanyak 273. Menurut analisa ekonomi, didapat hasil TCI sebanyak Rp. 914.478.365.907,96 dengan pengembalian modal selama 4 tahun. Diperoleh BEP sebesar 44,39%. Dari hasil tersebut, pabrik layak didirikan.

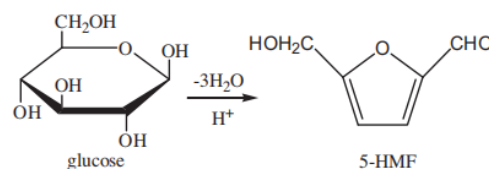
Kata kunci : 5-HMF, 5-Hydroxymethylfurfural, Eceng Gondok.

1. Pendahuluan

Penipisan sumber daya fosil secara bertahap dan meningkatnya permintaan bahan bakar serta bahan kimia telah menghasilkan pencarian teknologi alternatif dan sumber karbon. Dengan meningkatnya kebutuhan sumber energi dan fosil yang semakin sedikit, menjadikan 5-HMF sebagai bahan kimia yang penting dengan berbasis bio yang bisa mengendalikan pencemaran lingkungan, mendukung kebutuhan sumber energi, sumber karbon yang dapat diolah menjadi bensin dan bahan bakar diesel. Selain sebagai bahan bakar, 5-HMF juga berpotensi menjadi polimer dengan mengubah 5-HMF menjadi 1,6-heksanediol dan tetrahydrofuran dimethanol yang dapat digunakan untuk memproduksi poliester dan polimer (Chang et al. 2021).

Senyawa 5-HMF dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis pelarut dan katalisnya. Pelarut akan mempengaruhi *yield* yang dihasilkan dan juga mempengaruhi pengerjaan produk serta aliran *recycle* pelarut

atau katalis. Produk samping dari 5-HMF adalah asam levulinik dan asam format, kedua produk samping ini terbentuk karena adanya proses dehidrasi berturut-turut pada 5-HMF dan produk larutnya (humins). Secara umum sintesis 5-HMF berbahan baku monosakarida. Akan tetapi, sintesis polisakarida menjadi 5-HMF lebih unggul secara ekonomis dan ramah lingkungan. Polisakarida jenis inulin, selulosa, dan hemiselulosa akan terlebih dahulu dihidrolisis menjadi monosakarida (glukosa, fruktosa dan xilosa) (Fachri, 2015).

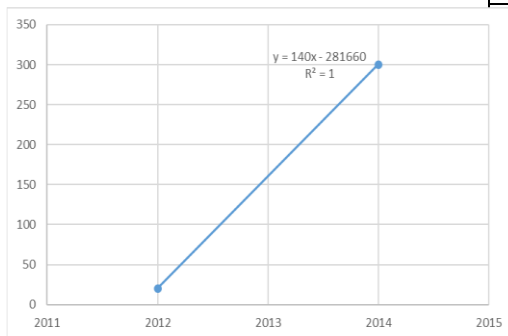


Gambar 1 Reaksi Pembentukan 5-HMF

Eceng gondok digunakan sebagai bahan baku karena laju pertumbuhan yang tinggi, eceng gondok dianggap sebagai hama atau perusak

ekosistem. Eceng gondok akan mendegradasi kualitas dan kuantitas air, degradasi air disebabkan evaporasi yang terjadi lebih besar karena lebar daun eceng gondok yang luas (Krishan, dkk, 2020). Faktor ini merupakan faktor pendukung untuk pemanfaatan lebih lanjut tumbuhan eceng gondok. Selain merugikan karena cepat menutupi permukaan air, eceng gondok memiliki kandungan selulosa 64,51%, Hemiselulosa 15,61%, 7,69%, dan abu 12,19% yang dapat dimanfaatkan untuk pembentukan 5-HMF sehingga dapat mengurangi kerusakan lingkungan perairan akibat pertumbuhan eceng gondok yang sangat cepat (Munkar, dkk, 2017). Selulosa merupakan komponen struktural utama dari biomassa yang dapat dihidrolisis menjadi glukosa dalam kondisi asam. Glukosa dapat diubah menjadi berbagai bahan kimia bernilai tambah tinggi seperti 5-HMF (Kougoumtzis et al. 2018).

Masih belum ada pabrik yang memproduksi 5-HMF di Indonesia. Tidak ada data tentang produksi dan ekspor yang tercatat di Badan Pusat Statistik (BPS) yang menunjukkan bahwa produksi 5-HMF masih belum ada di Indonesia. Kapasitas produksi pabrik 5-HMF di Indonesia berpedoman pada *AVA Biochem BSL AG Muttenz*, Swiss yang merupakan pabrik pertama di dunia dalam memproduksi 5-HMF dengan kapasitas produksi 20 ton/tahun pada tahun 2012 kemudian meningkat hingga 300 ton/tahun pada tahun 2014 (Kläusli 2014).



Gambar 2. Persamaan Regresi untuk Menentukan Kapasitas Produksi

Dari Gambar 2 dapat diperoleh persamaan regresi:

$$\text{Jumlah} = 140 (\text{Tahun}) - 281660$$

Dengan berpedoman pada *AVA Biochem BSL AG Muttenz*, Swiss serta kesediaan bahan baku eceng gondok maka kapasitas produksi pabrik 5-HMF di Indonesia pada tahun 2030 sebesar 2000 ton/tahun yang

didapat dari persamaan regresi (Gambar 2) dengan rencana pengembangan berupa perluasan area produksi dan peningkatan kapasitas produksi.

1. Pemilihan Proses

2.1 Macam-macam proses

Pemilihan proses dilakukan untuk mendapatkan proses yang efisien sesuai dengan pertimbangan aspek-aspek yang ada, yaitu bahan baku, sistem utilitas, dan biaya produksi. Terdapat beberapa bahan yang dapat dimanfaatkan sebagai 5-HMF. Secara umum, sintesis 5-HMF dilakukan dengan menggunakan monosakarida sebagai bahan bakunya. Akan tetapi, jika dilihat dari aspek ekonomis dan aspek lingkungan, polisakarida merupakan bahan baku yang lebih cocok untuk disintesis menjadi 5-HMF. Dari studi yang dilakukan oleh (Chang et al. 2021) dapat dilihat dari tabel 1 perbedaan *yield* pada variasi katalis dan jenis pelarut.

Tabel 1. Variasi Proses Sintesis 5-HMF

No.	Katalis	Jenis Pelarut	T °C	Yield (%)	Ref.
1.	<i>Amberlyst - 15</i>	Aseton/Air	120	79	(Chang et al, 2021)
2.	H ₂ SO ₄	Butanol/Air	150	68,6	(Penston, 1956)
3.	AlCl ₃	Dioksan	210	41,6	(Thomas et al, 2020)
.	AlCl ₃ + HCl	Dioksan	150	40,2	(Thomas et al, 2020)
.	Metal Chloride, CrCl ₃	Cairan ionic, EMIM CH ₃ -O-SO ₃	100-160	63	(Thomas et al, 2020)
.	HY Zeolite	Air	120	82%	(Aainaa, 2016)

Berdasarkan tabel 1 penggunaan jenis pelarut dan katalis yang menguntungkan dengan menggunakan jenis pelarut air dengan bantuan katalis HY zeolite dengan kondisi proses pada suhu 120°C. Oleh karena itu, proses yang digunakan dalam produksi 5-HMF menggunakan pelarut air dengan katalis HY zeolite pada kondisi proses suhu 120 °C selama. *Yield* yang dihasilkan lebih tinggi dan pelarut ini lebih ramah lingkungan serta dapat di *recycle* kembali untuk mengurangi biaya produksi.





2.2 Uraian Proses

Proses sintesis 5-HMF memiliki beberapa tahapan, diantaranya :

a. Preparasi brine

Brine yang digunakan merupakan brine NaCl dengan konsentrasi 17%. NaCl dari tangki penyimpanan F-111 disalurkan melalui conveyor J-122 menuju bucket elevator J-133. Dari J-133 kemudian disalurkan melalui conveyor J-144 menuju tangki pengenceran M-110. Pada M-110 dilakukan penambahan air water plant untuk mengencerkan brine pada konsentrasi 17% (Urshaghi, 1984).

b. Preparasi H₂SO₄

Larutan H₂SO₄ (98%) pada storage F-121 dipompa melalui L-122 menuju tangki pengenceran M-120 untuk dilakukan pengenceran hingga konsentrasi menjadi 12% menggunakan air dari water plant. Larutan H₂SO₄ 12% disalurkan melalui pompa L-125 menuju ke tangki hidrolisis M-140.

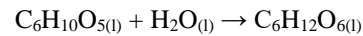
c. Preparasi bahan baku

Bahan baku eceng gondok disalurkan melalui conveyor J-131 menuju bucket elevator J-132, kemudian disalurkan ke chopper C-133 untuk mengecilkan ukuran eceng gondok hingga 60 mesh. Kemudian eceng gondok disalurkan melalui conveyor J-134 untuk memasuki proses steaming pada F-130. Proses ini berguna untuk menghilangkan kandungan lignin dan hemiselulosa yang ada pada eceng gondok, steamer F-130 dialiri dengan uap jenuh bertekanan tinggi 22 bar pada suhu 120°C selama 3 menit. Hasil steaming akan masuk ke filter press H-135 untuk dilakukan pencucian dan pengepresan, tujuannya agar kandungan lignin dan hemiselulosa yang telah terpisah bisa larut bersama air dari water plant. Produk keluaran H-135 merupakan eceng gondok berbentuk solid yang disalurkan melalui conveyor J-136 menuju tangki hidrolisis M-140 untuk proses hidrolisis.

d. Proses hidrolisis

Eceng gondok dari J-136 masuk kedalam M-140 untuk di hidrolisis dengan pelarut H₂SO₄ 12% dari L-125. Proses hidrolisis bertujuan untuk memecah selulosa yang ada pada eceng gondok menjadi glukosa. Proses ini berlangsung selama 90 menit dengan suhu

operasi 100°C. Kondisi pH asam merupakan kondisi yang optimal untuk proses hidrolisis. Pada tangki hidrolisis dilakukan pemanasan menggunakan uap bertekanan tinggi 175°C dengan tekanan 8,2 bar untuk diperoleh kondisi optimal dari proses hidrolisis (Priatna, et al., 2021). Pada tahapan ini, selulosa akan terhidrolisis menjadi glukosa dalam suasana asam, dengan reaksi senyawa sebagai berikut (Anggraeni 2013):



Hasil dari M-140 akan disalurkan menuju cooler E-142 untuk di dinginkan sampai suhu 30°C, kemudian dipompa melalui L-143 menuju filter press H-145 untuk dilakukan penyaringan. Filtrasi kedua pada H-145 berfungsi memisahkan ampas eceng gondok dengan selulosa hasil hidrolisis. Selulosa dari H-145 kemudian disalurkan menuju heater E-146 untuk dipanaskan hingga suhu 120°C sebelum nantinya masuk ke Flash Tank V-148. Pada V-148 dilakukan pemisahan antara glukosa dan H₂SO₄ 12%, dengan kondisi operasi V-148 pada suhu 120°C dan tekanan operasi 0,1 atm. Glukosa akan keluar bersama sisa air sebagai produk bawah dan dialirkan melalui pompa L-152 untuk masuk ke tahap dehidrasi pada R-150.

Sementara H₂SO₄ akan keluar sebagai produk atas menuju unit penampungan limbah.

e. Proses dehidrasi

Glukosa hasil V-148 yang dialirkan dari pompa L-152 masuk ke R-150 untuk proses dehidrasi. Pada proses ini glukosa dikontakan dengan katalis berupa HY zeolite untuk membantu konversi menjadi 5-HMF. Pada proses ini sebesar 82% 5-HMF terkonversi (Aainaa, 2016). Dehidrasi dilakukan dengan penambahan pelarut air pada perbandingan 80:20 v/v dari water plant. Proses ini berlangsung pada suhu 120°C. Reaksi yang terjadi pada reaktor sintesis 5-HMF sebagai berikut:



Produk keluaran dehidrasi R-150 kemudian didinginkan melalui cooler E-154 untuk menurunkan suhu hingga 90°C. Kemudian produk dipompa melau L-155 menuju Flash Tank V-156 untuk dipisahkan antara 5-HMF dengan glukosa yang tidak terkonversi. Flash Tank V-156



beroperasi pada suhu 90°C dengan tekanan 0,01 atm. Glukosa merupakan produk bawah V-156 yang di pompa melalui L-159 menuju R-150 untuk dikonversi kembali, sedangkan 5-HMF merupakan produk atas yang masuk kedalam kondensor E-161 untuk didinginkan hingga suhu 80°C sebelum masuk ke unit separasi dan konsentrasi.

f. Proses separasi dan konsentrasi

Produk E-161 dipompa dengan L-163 menuju ke Flash Tank V-164 untuk dipisahkan antara 5-HMF dengan air hingga konsentrasi 98%. Pada Flash Tank V-164 pemisahan berlangsung di suhu 80°C dengan tekanan 0,001 atm. Air keluar sebagai produk atas yang disalurkan ke water treatment plant. Sementara produk bawah V-164 merupakan 5-HMF dengan konsentrasi 98%.

5-HMF 98% disalurkan menuju cooler E-166 untuk menurunkan suhu nya menjadi 30°C. 5-HMF 98% yang telah dingin dipompa melalui L-168 menuju tangki penyimpanan 5-HMF F-160 sebelum nantinya didistribusikan.

3. Utilitas

Utilitas sangat berperan penting dalam menunjang proses produksi. Kebutuhan utilitas dapat dilihat pada tabel 2 dibawah ini.

Kebutuhan	Jumlah
Air	25.188,4751 L/jam
Listrik	350,3896 kW/jam
Steam	5.728,3582 kg/jam
Bahan bakar	904.334.807,5 kg/hari

4. Evaluasi Ekonomi

Evaluasi ekonomi dilakukan untuk melihat keuntungan dan kelayakan pendirian pabrik. Beberapa parameter kelayakan harus diperhatikan sebelum mendirikan suatu pabrik. Parameter evaluasi ekonomi pabrik 5-HMF dapat dilihat pada **table 3**.

Table 3. Parameter Evaluasi Ekonomi

Komponen	Parameter	Hasil	Kelayakan
Annual Cash Flow	> % Bunga Bank	39,95 %	Layak
Pay Out Time	< 5 tahun	3,11 tahun	Layak
Rate of Return	> 11%	30,95 %	Layak
Break Even Point	40 - 50 %	44,39 %	Layak

Keterangan :

POT : *Pay Out Time* (POT) merupakan waktu yang dibutuhkan untuk melunasi seluruh pinjaman dan bunganya. POT menunjukkan berapa lama waktu untuk mengembalikan modal tetap.

ROR : *Rate of Return* (ROR) merupakan laju pengembalian modal yang diperoleh dari rasio antara laba bersih setelah pajak dengan total modal yang dibutuhkan.

BEP : *Break Event Point* (BEP) merupakan titik impas untuk mengetahui persentase kapasitas biaya produksi sama dengan total penjualan.

5. Kesimpulan

Berdasarkan uraian diatas, maka dapat diambil kesimpulan dari analisa studi kelayakan pada Pra Rancangan Pabrik 5-HMF dari Eceng Gondok. Studi kelayakan yang dimaksud meliputi kelayakan secara teknik ataupun ekonomis. Pabrik 5-HMF ini akan beroperasi dengan 1 batch = 48 jam, 330 hari/tahun dengan kapasitas produksi 2000 ton/tahun. Bahan baku yang digunakan dalam proses produksi yaitu Eceng gondok, Asam Sulfat (H₂SO₄), Natrium Klorida (NaCl), dan HY Zeolit. Pabrik ini akan didirikan pada tahun 2030 di Provinsi Kalimantan Timur dengan jumlah tenaga kerja sebanyak 273 karyawan. Produk yang dihasilkan pabrik ini adalah 5-HMF dengan kemurnian sebesar 98%.



Daftar Pustaka

- Anggraeni, Putri ; Zakiyah Addarajah ; Didi Dwi Anggoro. 2013. "Hidrolisis Selulosa Eceng Gondok (Eichhornia Crassipe) Menjadi Katalis Arang Aktif Tersulfonasi." 2(3):63–69.
- Ayuningtyas, I., 2021. Ketimpangan Akses Pendidikan di Kalimantan Timur. *Jurnal Pendidikan dan Kebudayaan*, 6(2).
- Chang, Hochan, Ishan Bajaj, Ali Hussain Motagamwala, Arun Somasundaram, George W. Huber, Christos T. Maravelias, and James A. Dumesic. 2021. "Sustainable Production of 5-Hydroxymethyl Furfural from Glucose for Process Integration with High Fructose Corn Syrup Infrastructure." *Green Chemistry* 23(9):3277–88.
- Fachri, B. B. A., 2015. Catalytic inulin conversions to biobased chemicals. Thesis, pp. 1-155.
- Fadli, Ihwan, and Budianto Lanya. 2015. "Pengujian Mesin Pencacah Hijauan Pakan (Chopper) Tipe Vertikal Wonosari I Test Performance of Forage Chopper Vertikal Wonosari Type I." 4(1):35–40.
- Indonesia, M. P. U. d. P. R. R., 2017. Pola Pengolahan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Mahakam, s.l.: Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia.
- Irawati. 2019. "Kualitas Fisik Dan Nutrisi Silase Eceng Gondok (Eichornia Crassipes) Dengan Lama Fementasi Yang Berbeda." 4(1): 88–100.
- Kayati, Fitri Nur, Siti Syamsiah, Wahyudi Budi Sediawan, and Sutijan Sutijan. 2016. "Studi Kinetika Hidrolisis Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Dengan Proses Fermentasi Padat Menggunakan Jamur *Aspergillus Niger*." *Reaktor* 16(1):1–8.
- Kläusli, Thomas. 2014. "AVA Biochem: Commercialising Renewable Platform Chemical 5-HMF." *Green Processing and Synthesis* 3(3):235–236.
- Kougioumtzis, M. A., A. Marianou, K. Atsonios, C. Michailof, N. Nikolopoulos, N. Koukouzas, K. Triantafyllidis, A. Lappas, and E. Kakaras. 2018. "Production of 5-HMF from Cellulosic Biomass: Experimental Results and Integrated Process Simulation." *Waste and Biomass Valorization* 9(12):2433–45.
- Krishan, S. et al., 2020. Bioethanol Production from Lignocellulosic Biomass (water hyacinth): a biofuel alternative. In: *Bioreactors*. s.l.:Elsevier Inc., pp. 123-143.
- Menegazzo, F., Ghedini, E. & Signoreto, M., 2018. 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) Production from Real Biomasses. *Molecules*, Volume 23, pp. 1-18.
- Merry, N. M. M., 2019. Water hyacinth: Potential and threat. *Material today: proceeding*, Volume 19, pp. 1408-1412.
- Mitan, N. M. M., 2019. Water hyacinth: Potential and threat. *Material today: Proceedings*, Volume 19, pp. 1408-1412.
- Munkar, Galih, Syafrudin, and Winardi Dwi Nugraha. 2017. "Pengaruh C/N ratio Pada Proses Produksi Biogas dari Daun Eceng Gondok dengan Metode Liquid Snaerobic Digestion (L-AD)." *Jurnal teknik lingkungan* 1-8.
- Penston, C. P. 1956. "Manufacture of 5-Hydroxymethylfurfural 2-Furfural." 427
- Perez, G. P. & Dumont, M.-J., 2020. Production of HMF in high yield using a low cost and recyclable carbonaceous catalyst. *Chemical Engineering Journal*, Volume 382, pp. 1-9.
- Rahmat, H. K. et al., 2021. Implementasi Kepemimpin Strategis Guna Menghadapi Ancaman Bencana Banjir dan Tsunami di Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Manajemen Bencana (JMB)*, 7(1), pp. 1-18.
- Sari, Ni Ketut. 2000. *Desain Pabrik Kimia*.
- Souzanchi, S. et al., 2021. 5-HMF production from industrial grade sugar syrups derived from corn and wood using niobium phosphate catalyst in a biphasic continuous-flow tubular reactor. *Catalyst today*, pp. 1-7.
- T., F. & Suharto, R. B., 2018. Studi Tentang Ketenagakerjaan di Provinsi Kalimantan Timur. 3(4).
- Thomas, Catherine, Johannes Konnerth, Wilfried Sailer-Kronlachner, Pia Solt, Thomas Rosenau, and Hendrikus W. G. van Herwijnen. 2020. "Current Situation of the Challenging Scale-Up Development of Hydroxymethylfurfural Production." *ChemSusChem* 13(14):3544–64.
- Tumilaar, T. V., Maramis, M. T. & Siwu, H. F., 2022. Pengaruh Jumlah Penduduk, Pendidikan, dan Upah Minimum Terhadap Tingkat Pengangguran Terbuka di Kabupaten/Kota Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Berkala Ilmiah Efisiensi*, 22(5).
- Utami, S. P. & Amin, N. A. S., 2017. Pembuatan 5-Hidroksimetilfulfural dari Glukosa Melalui Proses Hot Compressed Water dengan Variasi Waktu dan Suhu. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 16(2), pp. 54-61.

