

## PRAPERANCANGAN PABRIK $\gamma$ -VALEROLACTONE (GVL) DARI HIGH FRUCTOSE CORN SYRUP (HFCS-90) KAPASITAS 40.000 TON/TAHUN

Rinaldo jhonatan Simanjuntak<sup>1</sup>, Gabriel Rianto Aritonang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi S-1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jember Jl. Kalimantan Tegalboto No. 37, Krajan Timur, Sumbersari, Kabupaten Jember

E-mail : [rinaldojuntak046@gmail.com](mailto:rinaldojuntak046@gmail.com) , [Gabrielrianto19@gmail.com](mailto:Gabrielrianto19@gmail.com)

### Abstrak

Perencanaan pabrik Gamma-Valerolactone (GVL) akan beridiri pada tahun 2025 yang berlokasi di Cilegon Timur, Provinsi Banten. Pabrik beroperasi selama 330 hari dengan total karyawan 208 orang dan kapasitas pabrik mencapai 40.000 Ton/Tahun. Bahan baku yang digunakan adalah sirup fruktosa tinggi dari jagung (HFCS-90). Pembuatan GVL melalui tahap pertama yaitu dehidrasi hidrolisis, tahapan ini memecah molekul fruktosa menjadi senyawa yang lebih sederhana berupa asam levulinat dan asam format. Dehidrasi hidrolisis dibantu oleh katalis cair dalam mempercepat laju reaksi, katalis yang dipakai adalah asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) konsnetrasi 5-10%. Kondisi operasi tahap hidrolisis berada pada tekanan 5 atm dan suhu  $140^\circ C$ . Proses netralisasi berfungsi untuk menghilangkan kandungan asam sulfat menggunakan kalsium hidroksida ( $Ca(OH)_2$ ) dan membentuk kalsium sulfat dihidrat ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ). Tahao hidrogenasi adalah tahap mengubah asam levulinat menjadi GVL dengan bantuan katalis padat ruthenium on carbon (Ru/C) pada kondisi operasi 20 barr dan  $130^\circ C$ . Tahap pemurnian sebagai tahap final untuk memperoleh GVL dengan kandungan 97%.

Kebutuhan utilitas air 819530 Kg/jam diperoleh dari air sungai kali berung, kebutuhan utilitas listrik sebesar 3374.061 KW disupplay dari generator dan PLN. Utilitas bahan bakar disupplay dari Pertamina sebagai bahan bakar solar untuk boiler. Analisa Ekonomi didapat Annual Cash Flow (AFC) 82.13%, waktu pengembalian modal 4 tahun, Rate of Return (ROR) 73.13%, Pay Out Time (POT) 1.375 Tahun, Break Even Point (BEP) 46.72%. Berdasarkan uraian tersebut pabrik gamma-valerolactone (GVL) layak didirikan.

Kata kunci: High Fructose Corn Syrup (HFCS-90), Gamma-Valerolactone (GVL)

### 1. Pendahuluan

Mayoritas konsumsi energi total di seluruh dunia (sekitar 80%) dihasilkan dari bahan bakar fosil. Indonesia merupakan salah satu negara yang kaya akan bahan bakar fosil, yang meliputi minyak, gas bumi, dan batu bara. Namun, konsumsi akan bahan bakar fosil sangat tidak sebanding dengan ketersediaan dan kemampuan regenerasinya. Bahan bakar fosil juga menjadi penyebab terjadinya hujan asam karena keluaran gas oksida belerang dan nitrogen. Maka dari itu untuk mengatasi permasalahan ini, diperlukan adanya sumber bahan bakar alternatif yang berkelanjutan dan juga ramah lingkungan.

Biomassa merupakan salah satu sumber bahan bakar yang cukup menjanjikan. Hal ini dikarenakan biomassa adalah bahan baku terbarukan yang ketersediaannya paling melimpah di bumi dan sifatnya yang lebih ramah terhadap lingkungan. Penggunaan biomassa telah dipromosikan secara luas dalam beberapa tahun terakhir untuk memproduksi produk terbarukan, seperti bahan kimia, bahan bakar, maupun energi. Banyak peneliti telah menemukan varietas kimia biomassa dan berbagai kemungkinan jalur sintesis untuk

menghasilkan bahan kimia dan bahan bakar utama industri, salah satunya yaitu  $\gamma$ -valerolactone (GVL). GVL yang memiliki rumus molekul  $C_5H_8O_2$  ini, tersusun dari 5 karbon (valero-) ester siklik dengan 5 atom (4 karbon dan 1 oksigen) di dalam cincin ( $\gamma$ -lactone). Sifat-sifat yang dimiliki GVL membuatnya cukup stabil dan reaktif untuk menghasilkan berbagai senyawa termasuk butena, asam valerat, dan 5-nonanon, serta memungkinkan GVL untuk digunakan sebagai pelarut yang berasal dari biomassa. Sintesis GVL akan jauh lebih mudah jika menggunakan fruktosa dibandingkan karbohidrat lainnya karena fruktosa merupakan molekul yang reaktif atau tidak stabil sehingga mudah di konversikan menjadi senyawa lain. Fruktosa sendiri merupakan isomer dari glukosa. Keduanya memiliki rumus molekul yang sama ( $C_6H_{12}O_6$ ). Menurut data statistik MIGAS 2021, impor bahan bakar minyak pada tahun 19.929.290 kilo liter dan produksi dalam negeri mencapai 65.724.990 kilo liter (Kementrian ESDM, 2021). Hal ini menunjukkan bahwa



Indonesia masih membutuhkan impor bahan bakar yang cukup banyak dalam memenuhi konsumsi bahan bakar dalam negeri. Maka dari itu, perlu didirikan sebuah pabrik GVL dengan inovasi terbaru sebagai zat aditif pada bahan bakar minyak yang memanfaatkan *High-Fructose Corn Syrup* (HFCS) sebagai bahan bakunya.

*High fructose corn syrup* (HFCS) yang merupakan cairan buatan yang berasal dari biomassa jagung dengan kandungan fruktosa yang tinggi. Pada tahun 1957, HFCS pertama kali diperkenalkan oleh Richard O. Marshall dan Earl R. Kooi. Produksi HFCS terus berkembang pada tahun 1970-an seiring dengan pertumbuhan produksi jagung di dunia, selain itu harga sirup ini lebih murah daripada harga gula. Hal ini lah yang mendorong industri makanan dan minuman mengganti gula menjadi HFCS untuk memaksimalkan keuntungan dan menekan biaya produksi. HFCS diperoleh dari tanaman jagung dengan bantuan katalis enzim yang berperan mengubah glukosa menjadi fruktosa, dimana menghasilkan HFCS dengan kandungan gula 75 % dan air 25 %. Kandungan gula pada HFCS dibagi menjadi 3 bagian; HFCS-90 (90% fruktosa & 10% gula lain), HFCS-55 (55% fruktosa & 45% gula lain), dan HFCS-42 (42% fruktosa & 58% gula lain)

**Tabel 1.** Data Produksi HFCS Amerika pada tahun 2016-2020

Tahun	Produksi (1000.ton)
2016	8.366
2017	8.280
2018	8.048
2019	7.865
2020	7.631

**Tabel 2.** Data Impor Bahan Bakar Minyak di Indonesia

Tahun	Impor (ton)	Kebutuhan GVL (ton)
2016	4.475.929	447.592,9
2017	5.461.934	546.193,4
2018	5.566.572	556.657,2
2019	5.714.695	571.469,5

Tabel 2 menunjukkan bahwa Indonesia masih sangat bergantung pada impor bahan bakar minyak. Guna memprediksi nilai impor pada tahun 2025, digunakan persamaan regresi linier untuk menggambarkan fenomena statistik dari nilai impor bahan bakar minyak. Persamaan tersebut adalah  $y = 382094x + 4E+06$  dengan nilai  $R^2 = 0,7698$ , dengan  $y$  adalah jumlah impor bahan bakar minyak (ton/tahun) dan  $x$  adalah

tahun ke-. Berdasarkan persamaan tersebut, maka dapat di perhitungkan kebutuhan impor bahan bakar minyak pada tahun 2025 sebesar 7.820.940 ton/tahun dan kebutuhan GVL sebesar 817.045 ton/tahun. Sementara itu produksi GVL secara global meningkat setiap tahunnya berdasarkan data yang ditunjukkan tabel 3.

**Tabel 3.** Kapasitas Produksi GVL secara Global

Tahun	Kapasitas Produksi GVL Global (ton/tahun)
2010	685.350
2011	723.500
2012	748.525
2013	779.561
2014	807.058

Dari hasil regresi linier, dapat di perkirakan kapasitas produksi GVL pada tahun 2025. Data akan didapat dari persamaan  $y = 29948x + 658956$  dimana  $y$  merupakan data produksi GVL (ton/tahun),  $x$  merupakan tahun ke-, dan dengan nilai  $R^2$  adalah 0,9958. Data kapasitas produksi GVL secara global yang di peroleh di tahun 2025 adalah 1.138.124 ton/tahun. Kapasitas produksi global menunjukkan bahwa kebutuhan GVL secara global sangat tinggi dan hal serupa terjadi di Indonesia. Apabila diasumsikan bahwa produksi pabrik ini akan memenuhi 5% dari produksi di Indonesia pada tahun 2025, maka kapasitas produksi pabrik sebesar 40.852 ton/tahun dan dibulatkan menjadi 40.000 ton/tahun.

## 2. Uraian Proses

Terdapat banyak proses yang digunakan untuk memproduksi gamma-valerolakton yang dimulai pada tahun 1930 sampai sekarang, dan dipilih 3 uraian proses yang paling terbaru (López-Aguado, del Monte, et al., 2022; Zhu et al., 2016; Piskun, De Haan, et al., 2016), ditampilkan pada tabel 4.



**Tabel 4. Macam Proses Pembuatan GVL**

Proses	Bahan Baku dan Katalis	Kondisi Operasi	Yield	Kelebihan	Kekurangan	Referensi
<i>Catalytic Transfer Hydrogenation</i> (CTH)	LA ; katalis Zr-Al-Beta	170 °C, 26 bar, 24 jam	99 %	Yield tinggi	Waktu produksi lama	(López-Aguado del Monte, et al., 2022)
Hydrogenasi Furfural dari Hemiselulosa	Furfural (tongkol jagung) ; katalis Au/ZrO <sub>2</sub> + ZSM-5	120 °C, 30 bar, 24 jam	80,4%	Bahan baku murah, suhu lebih rendah	Yield kecil, tekanan tinggi, waktu produksi lama	(Zhu et al., 2016)
<i>Acid-Catalyzed Dehydration</i> dari Selulosa (ACD)	Asam Levulinat, katalis Ru/C	150 °C, 45 bar, 6 jam	>84%	Waktu lebih singkat, suhu lebih rendah, yield cukup tinggi	Tekanan tinggi	(Piskun, De Haan, et al., 2016)

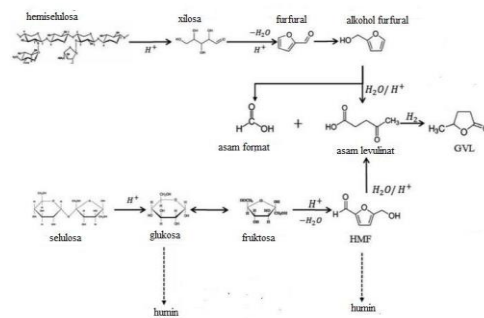
Berdasarkan tabel 4 maka proses *Acid-Catalyzed Dehydration* dari Selulosa (ACD) dipilih dengan modifikasi bahan baku. Dipilih karena yield yang diperoleh tinggi serta waktu lebih singkat dari pada yang lain. Terdapat 2 proses utama yaitu proses dehidrasi hidrolisis dan proses hidrogenasi.

### 1. Dehidrasi Hidrolisis *High Fructose Corn Syrup*

*High fructose corn syrup* dengan jenis HFCS-90 ditampung pada tangki (F-111) sebagai bahan baku dalam produksi  $\gamma$ -valerolactone (GVL). Langkah awal dalam memproduksi GVL adalah dengan konversi HFCS menjadi asam levulinat dalam reaktor tangki berpengaduk. HFCS-90 yang berasal dari tangki dipompa menuju reaktor tangki berpengaduk (CSTR) (R-110) dengan penambahan katalis asam mineral yaitu asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Sebelum menuju reaktor berpengaduk, umpan dialirkan menuju heater (E-114) untuk pemanasan awal agar tidak membebani pemanasan di reaktor. Penambahan asam sulfat konsentrasi 5-10 % ke dalam reaktor untuk proses hidrolisis. Pada reaktor waktu tinggal proses 5 jam, suhu diatur 140 °C, tekanan 5 atm. Hasil reaktor pertama ada asam levulinat, asam sulfat, dan humin yang terbentuk dari gula yang tidak bereaksi. Hasil keluaran reaktor (R-110) berupa asam levulinat, asam sulfat, dan humin akan dialirkan menuju reaktor (R-210) untuk menghilangkan asam sulfat yang masih terkandung didalam campuran dengan cara penambahan kalsium hidroksida (Ca(OH)<sub>2</sub>). Sementara itu, air dan asam format akan menguap dan dialirkan menuju unit pemisah asam format dan H<sub>2</sub>O. Keluaran dari reaktor (R-210) didinginkan di cooler (C-214) sebelum masuk ke unit filtrasi (H-230) untuk memisahkan humin dan gipsum dengan LA. Humin dan gipsum dialirkan menuju unit produksi gipsum.

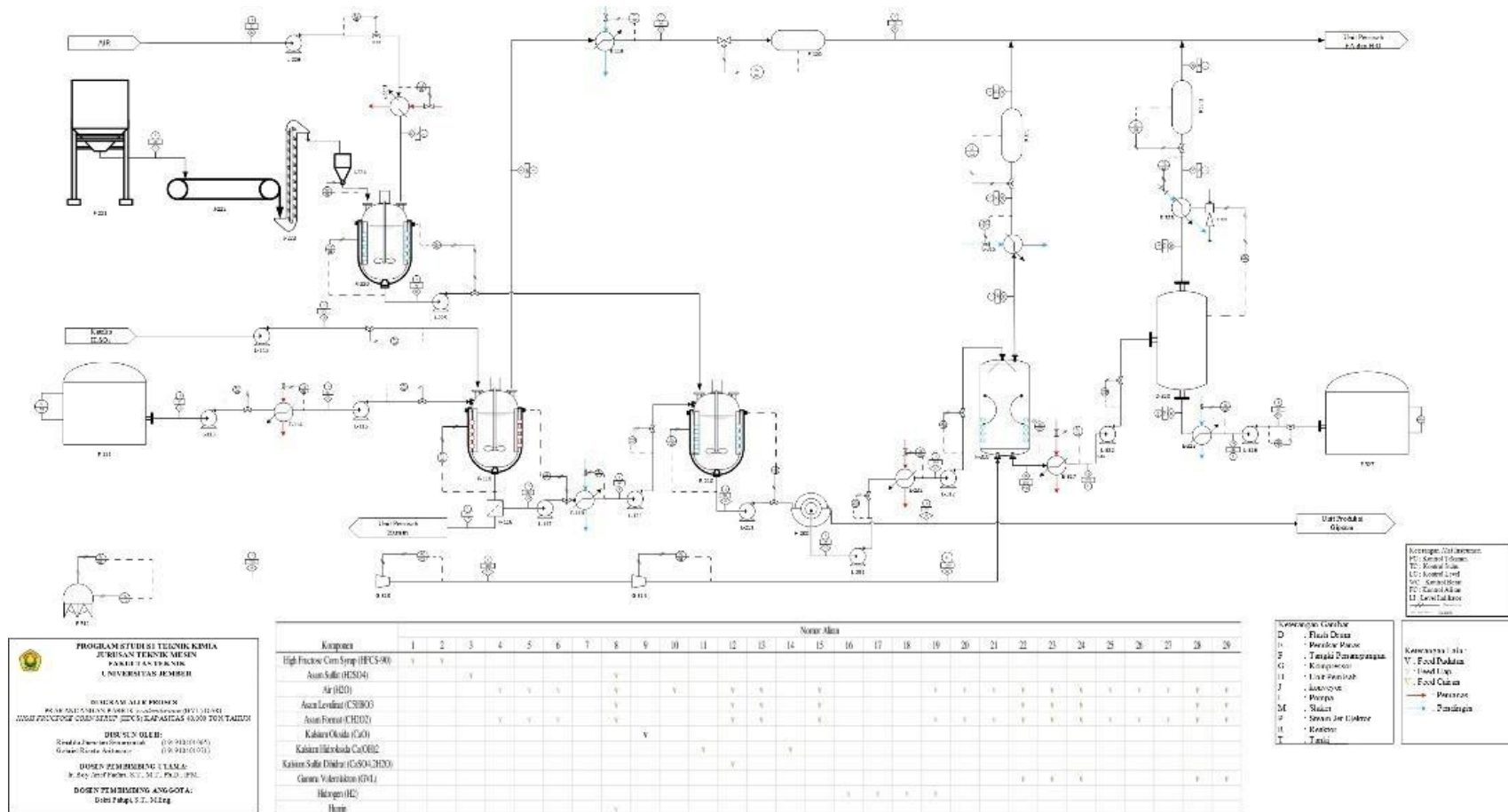
### 2. Proses Hidrogenasi dengan Katalis Heterogen Asam levulinat yang diperoleh dari proses

filtrasi selanjutnya akan dipompa menuju reaktor hidrogenasi (R-310), bersamaan dengan penambahan katalis heterogen ruthenium on carbon (Ru/C) berserta hydrogen sebagai pelengkap proses hidrogenasi. Proses ini adalah hidrogenasi eksternal karena hidrogen masuk bersamaan dengan feed dengan tujuan memastikan katalis tetap tereduksi. Kondisi operasi pada reaktor ini dijaga pada suhu 130 oC dan tekanan 20 bar selama 4 jam. Keluaran dari reaktor (R-310) adalah GVL sebagai produk bawah dan superheated vapor sebagai produk atas. Produk atas dialirkan menuju unit pemisah FA dan H<sub>2</sub>O sedangkan produk bawah yang sudah ada GVL dialirkan menuju unit pemisah untuk mendapatkan kadar diatas 95% sebagai acuan dalam produksi pabrik. Setelah proses di flash drum keluaran atas akan masuk ke kondensor untuk didingin kan sehingga mudah untuk ditampung pada unit pemisah. Kemudian produk bawah GVL 97% dialirkan menuju cooler dengan dan dipompa menuju tangki penyimpanan. Untuk mekanisme reaksi dapat dilihat pada gambar 1.



**Gambar 1.** Reaksi Pembentukan GVL dari biomassa Lignoselulosa





**Gambar 2.** Diagram Alir Proses Prarancangan Pabrik Gamma Valerolactone (GVL) Dari High Fructose Corn Syrup (HFCS-90) Kapasitas 40000 Ton/Tahun

### 3. Utilitas

Utilitas merupakan unit dalam memperlancar proses produksi. Agar proses dapat berjalan berkesinambungan, maka harus didukung oleh saran dan prasarana utilitas yang baik. Berdasarkan kebutuhannya, unit utilitas pada pabrik Gamma Valerolactone (GVL) terdiri atas:

1. Unit Penyedia Air Bersih
2. Unit Penyedia Pendingin
3. Unit Penyedia Steam
4. Unit Pendistribusi Tenaga Listrik & Bahan Bakar
5. Pengenceran Asam sulfat
6. Unit penampungan limbah

Pada proses industri air memegang peran penting, baik untuk kebutuhan proses maupun kebutuhan domestic (para pekerja dan kantoran). Air diperoleh dari sungai kali berung yang bersumber dari pulau dua. Air sungai tersebut akan diproses menggunakan metode pengolahan air yang telah dirancang dengan tujuan untuk memenuhi kebutuhan air. Pengolahan air terdiri dari koagulasi, penyaringan, penukar ion/ deamineralisasi. Air sungai akan dialirkan menuju bak pengendap awal dengan kapasitas air 819530 kg/jam. Pengendapan awal ini juga dilengkapi dengan saringan agar batuan kecil, sampah tidak ikut masuk ke tahap selanjutnya. Setelah melalui bak pengendap awal, air sungai akan masuk ke unit tangki penggumpal. Pada tangki ini air sungai akan diberikan senyawa kimia untuk mengurangi kesadahan air dengan menambahkan air tawas, soda kaustik, dan klorin. Senyawa kimia ini akan menarik partikel-partikel kotoran tersebut dan membentuk padatan/gumpalan yang naik ke atas dan mudah untuk dipisahkan.

Setelah melewati tangki penggumpal, air akan di teruskan menuju clarifier untuk memisahkan gumpalan kotoran dan air bersih. Dengan waktu tinggal di clarifier adalah 60 menit. Setelah terpisah dari pengotor air bersih akan dimasukkan ke unit saringan pasir, disini air dibersihkan lebih lanjut untuk mendapatkan air dengan kualitas yang sesuai. Setelah melewati unit saringan pasir air bersih akan dimasukkan ke dalam tangki khusus air kantor dan tangki khusus air proses. Tangki air kantor akan diberikan  $Cl_2$  sebagai penghilang kuman dan pathogen dalam air sehingga air terbebas dari zat besi dan dan magnesium. Sedangkan air proses akan dimasukkan ke unit penukar ion/deamineralisasi. Unti ini bertugas menghilangkan mineral atau ion-ion lain dari air yang bisa menyebabkan kerusakan pada boiler seperti korosi atau scaling. Sehingga menghambat kinerja dari boiler dalam mensuplai steam untuk proses.

Unit penukar ion, menggunakan resin penukar ion agar garam yang terdapat dalam air dapat diikat dengan resin dan ditukar kan dengan molekul yang lain. Resin yang dipakai untuk penukar ion harus mempunyai struktur yang radikal artinya

penukar ionnya terikat pada struktur polmer. Resin penukar ion dibagi menjadi 2 yaitu resin penukar kation dan anion. Resin penukar kation adalah resin yang berkombinasi dengan gugus sulfo biasanya asam sulfat. Resin kation menukarkan kation-kation dalam air dengan ion  $H^+$ . sedangkan resin penukar anion adalah resin adalah resin yang bersumber dari basa kuat atau yang berkombinasi dengan gugus amina tersier tetapi pada unit pengolahan ini dipakai natrium hidroksida (NaOH). Resin penukar anion berfungsi menukarkan anion-anion dalam air dengan ion  $OH^-$  (hidroksil).

### 4. Manajemen Perusahaan

Perusahaan merupakan suatu badan bisnis yang dikelola oleh sekelompok orang atau pihak tertentu untuk mencapai tujuan yang sama. Perusahaan pabrik gamma-valerolactone yang akan dibangun pada tahun 2025 ini direncanakan berbentuk perseroan terbatas (PT). Perseroan terbatas adalah sebuah badan hukum berbentuk persekutuan modal yang berdiri berdasarkan kesepakatan/perjanjian untuk melakukan kegiatan ekonomi yang modalnya terbagi dalam saham serta memenuhi ketentuan serta ketetapan undang-undang dalam pelaksanaannya dan total karyawan adalah 208 orang.

### 5. Evaluasi Ekonomi

Suatu pabrik dikatakan layak berdiri dapat ditinjau dari evaluasi ekonomi. Hal ini dipakai sebagai acuan untuk menghitung seberapa besar keuntungan yang diperoleh dari kapasitas produksi tertentu, dengan hasil evaluasi sebagai mana di paparkan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Kesimpulan Evaluasi Ekonomi

No.	Parameter	Hasil Perhitungan	Syarat Kelayakan	Kesimpulan
1.	Annual Cash Flow (ACF)	82,13 %	Lebih besar dari bunga bank (8,8%)	Pabrik layak didirikan
2.	Waktu pengembalian modal	4 tahun	Lebih kecil dari setengah umur pabrik (5 tahun)	Pabrik layak didirikan
3.	Rate of return (ROR)	73,13 %	Lebih besar dari bunga bank (8,8 %)	Pabrik layak didirikan
4.	Pay out time (POT)	1,375 tahun	Lebih kecil dari setengah umur pabrik (5 tahun)	Pabrik layak didirikan
5.	Break even point (BEP)	46,72 %	Dala rentang 40% - 50%	Pabrik layak didirikan



## 6. Kesimpulan

Berdasarkan uraian proses dan hasil perhitungan Prarancangan Pabrik *Gamma-Valerolactone* (GVL) dari *High Fructose Corn Syrup* (HFCS-90) menggunakan proses hidrolisis dan hidrogenasi, diperoleh kesimpulan sebagai berikut;

- Kapasitas Pabrik *Gamma-Valerolactone* adalah 40.000 Ton/Tahun
- Kebutuhan bahan baku *High Fructose Corn Syrup* (HFCS-90) adalah 153505.7 Ton/Tahun
- Pembangunan pabrik *Gamma-Valerolactone* dari HFCS-90 direncanakan berdiri di Provinsi Banten tepatnya kota Cilegon Timur
- Pabrik didirikan dengan beberapa unit proses, antara lain unit hidrolisis, unit netralisasi, unit hidrogenasi, dan unit memurnikan larutan
- Pabrik beroperasi secara kontinu 24 jam selama 330 hari/tahun dengan kebutuhan tenaga kerja untuk menjalankan operasi pabrik sebanyak 208 orang dan kerja secara bershift
- Penanganan limbah dan air bersih dilakukan pada unit utilitas untuk menunjang kinerja pabrik dan karyawan
- Analisa ekonomi dalam beberapa parameter mendapatkan hasil parameter annual cash flow (ACF) sebesar 74.79%, waktu pengembalian modal selama 4 tahun, pay out time (POT) sebesar 1.5 tahun, rate of return (ROR) sebesar 65.79%, dan break event point (BEP) sebesar 47.57% Dari hasil uraian diatas, ditinjau dari segi teknis, ekonomis, dan lingkungan, Pabrik *Gamma-Valerolactone* (GVL) dari *High Fructose Corn Syrup* (HFCS-90) dengan proses hidrolisis dan hidrogenasi layak didirikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alonso, D. M., Wettstein, S. G., Bond, J. Q., Root, T. W., & Dumesic, J. A. (2011). Production of Biofuels from Cellulose and Corn Stover Using Alkylphenol Solvents. *ChemSusChem*, 4, 1078–1081. <https://doi.org/10.1002/cssc.201100256>.
- Alonso, D. M., Wettstein, S. G., & Dumesic, J. A. (2013a). *derived from lignocellulosic biomass*. 584–595. <https://doi.org/10.1039/c3gc37065h>.
- Antonetti, C., Maria, A., Galletti, R., Fulignati, S., & Licursi, D. (2017). Amberlyst A-70: surprisingly active catalyst for the MW-assisted dehydration of fructose and inulin to HMF in water. *Catalysis Communications*. <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2017.04.032>.
- Ashok, R. P. B., Oinas, P., & Forssell, S. (2022). Techno-economic evaluation of a biorefinery to produce *gamma-valerolactone* (GVL), 2-methyltetrahydrofuran (2-MTHF) and 5-hydroxymethylfurfural (5-HMF) from spruce. *Renewable Energy*, 190, 396–407. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.03.128>.
- Chang, H., Bajaj, I., Motagamwala, A. H., Somasundaram, A., Huber, G. W., Maravelias, C. T., & Dumesic, J. A. (2021). Sustainable production of 5-hydroxymethyl furfural from glucose for process integration with high fructose corn syrup infrastructure. *Green Chemistry*, 23(9), 3277–3288. <https://doi.org/10.1039/d1gc00311a>.
- Engendahi, B. (2016). *Hydrogenation Of Levulinic Acid (LA) To Gamma-Valerolactone (GVL) With A Ruthenium (Ru) Catalyst Pre-Treated With Hydrogen in Water*.
- Fachri, B. A., Abdilla, R. M., Bovenkamp, H. H. V. De, Rasrendra, C. B., & Heeres, H. J. (2015). Experimental and Kinetic Modeling Studies on the Sulfuric Acid Catalyzed Conversion of *D-Fructose* to 5-Hydroxymethylfurfural and Levulinic Acid in Water. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 3(12), 3024–3034. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.5b00023>.
- Hancsók, J., Krár, M., Magyar, S., Boda, L., Holló, A., & Kalló, D. (2007). Investigation of The Production of High Cetane Number Bio Gas Oil from Pre-Hydrogenated Vegetable Oils Over Pt/HZSM-22/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Microporous and Mesoporous Materials*, 101, 148–152. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2006.12.012>.
- Hijazi, A. (2022). RSC Advances Catalytic valorisation of biomass levulinic acid into *gamma-valerolactone* using formic acid as a H<sub>2</sub> donor : a critical review †. *RSC Advances*, 12, 13673–13694. <https://doi.org/10.1039/D2RA01379G>
- Jeong, J., Antonyraj, C. A., Shin, S., Kim, S., Kim, B., Lee, K. Y., & Cho, J. K. (2013). Commercially attractive process for production of 5-hydroxymethyl-2-furfural from high fructose corn syrup. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 19(4), 1106–1111. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2012.12.004>





- Kim, J., Byun, J., & Han, J. (2022). Process integration and economics of gamma-valerolactone using a cellulose-derived ethyl levulinate intermediate and ethanol solvent. *Energy*, 239, 121964. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121964>.
- López-Aguado, C., del Monte, D. M., Paniagua, M., Morales, G., & Melero, J. A. (2022). Techno-Economic Assessment of Conceptual Design for Gamma-Valerolactone Production over a Bifunctional Zr-Al-Beta Catalyst. *Industrial and Engineering Chemistry*.
- Mahmoud, T. M. A. (2014). *Design of a High Fructose Corn Syrup pilot Plant*. January. <http://repo.uofg.edu.sd/handle/123456789/2339>
- Mehdi, H., Fabos, Vi., Tuba, R., Bodor, A., Mika, L., & Hovart, I. (2008). *Integration of Homogeneous and Heterogeneous Catalytic Processes for a Multi-step Conversion of Biomass : From Sucrose to Levulinic Acid ,  $\gamma$ -Valerolactone , 1,4-Pentanediol , 2-Methyl-tetrahydrofuran , and Alkanes*. 49–54. <https://doi.org/10.1007/s11244-008-9047-6>.
- Meramo-Hurtado, S. I., Ojeda, K. A., & Sanchez-Tuiran, E. (2019). Environmental and Safety Assessments of Industrial Production of Levulinic Acid via Acid-Catalyzed Dehydration. *ACS Omega*, 4, 22302–22312. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b02231>.
- Parker, K., Salas, M., & Nwosu, V. C. (2010). High fructose corn syrup : Production , uses and public health concerns. *Biotechnology and Molecular Biology Review*, 5(5)(December), 71–78. <http://www.academicjournals.org/journal/BMBR/article-abstract/41CAC0411547>
- Patil, S., Jacob Heltzel., & Carl R. F. Lund. (2012). Comparison of Structural Features of Humins Formed Catalytically from Glucose, Fructose, and 5-Hydroxymethylfurfuraldehyde. ACS Publications. doi.org/10.1021/ef3007454.
- Pyo, S. H., Glaser, S. J., Rehnberg, N., & Hattikaul, R. (2020). Clean Production of Levulinic Acid from Fructose and Glucose in Salt Water by Heterogeneous Catalytic Dehydration. *ACS Omega*. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b04406>. *Research*, 6(1), 5547–5556.
- Qi, L., & Horváth, I. T. (2012). Catalytic Conversion of Fructose to  $\gamma$ -Valerolactone in  $\gamma$ -Valerolactone. *ACS Catalysis*, 2, 2247–2249.
- Lucas, A., Fraga, V., Aguiar, D., Campos, L. M. A., & Pontes, L. A. M. (2021). *ALTERNATIVES FOR THE PRODUCTION OF LEVULINIC ACID OBTAINED FROM BIOMASS*. 44(10), 1300–1310. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2157/0100-4042.20170773>.
- Qonitah, S. H., Affandi, D. R., & Basito. (2016). Kajian Penggunaan High Fructose Syrup (HFS) sebagai Pengganti Gula Sukrosa Terhadap Karakteristik Fisik dan Kimia Biskuit Berbasis Tepung Jagung (*Zea mays*) dan Tepung Kacang Merah (*Phaseolus vulgaris* L.). *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 9(2), 9–21.
- Raj, T., Chandrasekhar, K., Banu, R., Yoon, J., Kumar, G., & Kim, S. (2021). Synthesis of  $\gamma$ -valerolactone (GVL) and their applications for lignocellulosic deconstruction for sustainable green biorefineries. *Fuel*, 303(June), 121333. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121333>

