

Pra-Desain Pabrik *Gamma Valerolactone* (GVL) dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit

Berlian Widi Bela Pamungkas, Faisal Akbar, Orchidea Rachmaniah, dan Wahyu Meka
Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: orchidea@chem-eng.its.ac.id

Abstrak—Limbah TKKS dapat diolah menjadi berbagai macam produk, salah satunya adalah *Gamma-Valerolactone* (GVL). GVL adalah senyawa yang dihasilkan dari biomassa yang dianggap sebagai salah satu bahan kimia yang paling bernilai tambah. GVL adalah bahan baku ramah lingkungan yang dapat digunakan dalam sintesis organik untuk menyiapkan serangkaian bahan kimia penting seperti ϵ -kaprolaktam, ester valerik, dan lain-lain. GVL memiliki banyak kegunaan. Dalam industri kimia, GVL digunakan sebagai bio-based green solvents. Dalam bidang energi, GVL digunakan sebagai bahan aditif bahan bakar. Konversi energi dari glukosa menjadi GVL adalah 97% dan energi pembakarannya mirip dengan etanol (29,7 MJ/kg). Nilai $\Delta H_{c,liq}$ GVL adalah -2,65 MJ/mol, yang dapat langsung digunakan sebagai bahan bakar cair atau aditif bahan bakar berkualitas tinggi (nilai etanol dan metil tert-butyl eter adalah -1,37 MJ/mol dan -3,37 MJ/mol, masing-masing). Berdasarkan DataIntel, pasar global GVL diperkirakan akan tumbuh pada CAGR sebesar 5,02% dari tahun 2022 hingga 2030. Pertumbuhan di pasar ini dapat dikaitkan dengan meningkatnya permintaan GVL dari berbagai industri pengguna akhir seperti sebagai zat aditif untuk makanan, pelarut, intermediet monomer, dan lain-lain. Untuk memproduksi GVL dari limbah TKKS, diperlukan 4 tahap utama, yaitu tahap pre-treatment, bahan baku, pembentukan asam levulinat dari selulosa dan hemiselulosa, serta pembuatan GVL dari asam levulinat. Proses utama yang digunakan dalam sintesis GVL dari asam levulinat adalah hidrogenasi katalitik dengan katalis Cu/ZrO₂. Pabrik dengan kapasitas 3372 Ton/tahun direncanakan didirikan di Kota Dumai, tepatnya di Kawasan Industri Dumai. Pabrik ini mulai dibangun pada tahun 2023 dan beroperasi pada tahun 2025. Total biaya bahan baku sebesar Rp709.518.494.203,00 per tahun. Rencana hasil penjualan GVL dari limbah TKKS sebesar Rp3.690.454.345.328,00 per tahun. Untuk Internal Rate of Return sebesar 32,3% dengan Pay Out Time selama 4,24 tahun. Break Even Point dari pabrik ini sebesar 43,69%. Pabrik direncanakan beroperasi dengan proses Continuous 24 jam selama 330 hari per tahun.

Kata Kunci—GVL, Hidrogenasi Katalitik, TKKS.

I. PENDAHULUAN

Di zaman modern saat ini, kehidupan manusia tidak bisa lepas dari kebutuhan energi. Seiring dengan perkembangan zaman, kebutuhan energi semakin meningkat. Sumber energi yang digunakan untuk kehidupan manusia sebagian besar berasal dari energi fosil yang termasuk energi tidak terbarukan. Ketersediaan energi fosil semakin menurun dari waktu ke waktu. Hal ini berbanding terbalik dengan kebutuhan energi yang semakin meningkat setiap tahunnya. Pertambahan jumlah penduduk yang disertai dengan peningkatan mutu berdampak pada peningkatan kebutuhan akan sarana transportasi dan aktivitas industri.

Sehingga akan menyebabkan kebutuhan bahan bakar cair juga meningkat. Berdasarkan data dari SKK Migas, konsumsi bahan bakar di Indonesia pada tahun 2016 adalah sekitar 1,5 juta barel perhari, pada tahun 2017 sekitar 1,6 juta barel per

Tabel 1.
Spesifikasi TKKS sebagai Bahan Baku Utama

Komponen Penyusun	Kadar (%)
Selulosa	59,7
Hemiselulosa	22,1
Lignin	18,1
Air	7,48-8,96
Abu	5,29

Tabel 2.
Data Produksi, Konsumsi, Ekspor, Impor Bensin di Amerika Serikat

Tahun	Konsumsi (Juta Liter)	Produksi (Juta Liter)	Impor (Juta Liter)	Ekspor (Juta Liter)
2017	715.512,34	76.590,38	291,26	5.725,40
2018	714.542,26	171.219,30	317,02	6.506,87
2019	700.542,20	77.213,29	650,73	6.069,98
2020	625.288,48	151.767,05	799,71	5.403,02
2021	668.427,22	169.430,69	1246,14	42.844,85

Tabel 3.
Persentase Pertumbuhan Konsumsi, Produksi, Impor, dan Ekspor Bensin di Amerika Serikat

Tahun	Konsumsi (%)	Produksi (%)	Impor (%)	Ekspor (%)
Rata-rata	-1,41%	44,21%	48,21%	172,23%

Tabel 4.
Estimasi Kapasitas Bensin Tahun 2025

Tahun	Konsumsi (Juta Liter)	Produksi (Juta Liter)	Impor (Juta Liter)	Ekspor (Juta Liter)
2025	631.593,60	732.791,95	6.012,26	2.352.992,82

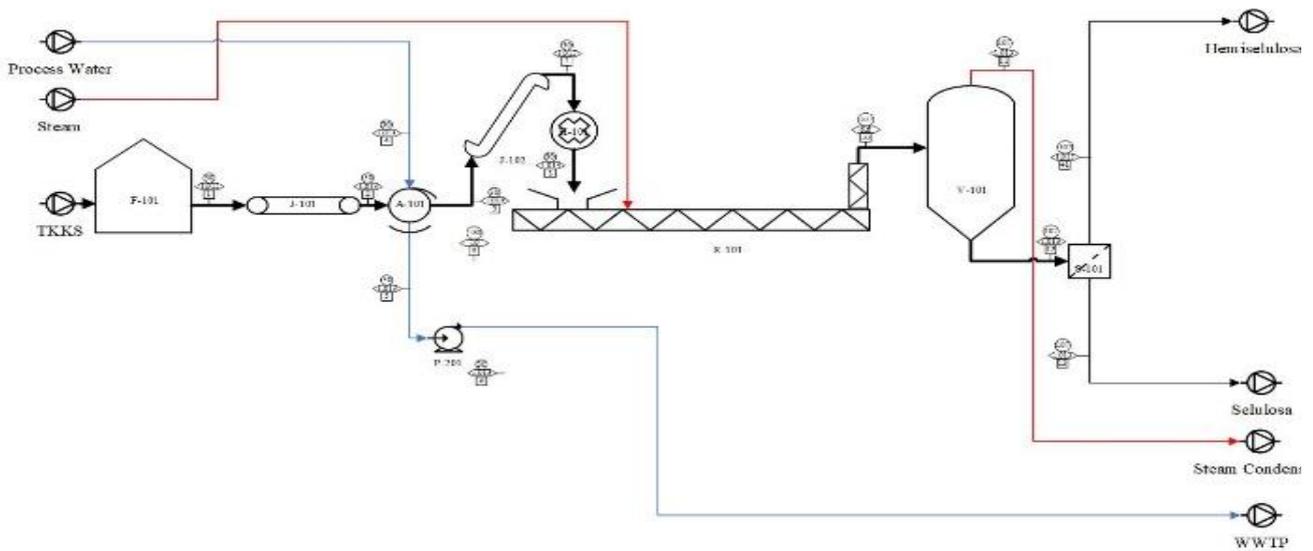
Tabel 5.
Faktor Kelayakan Pendirian Pabrik

<i>Net Present Value</i> (NPV)	Rp2.464.056.135.305,00
<i>Internal Rate of Return</i> (IRR)	32,3%
Pay Out Time (POT)	4 tahun 3 bulan
<i>Break Even Point</i> (BEP)	43,69%

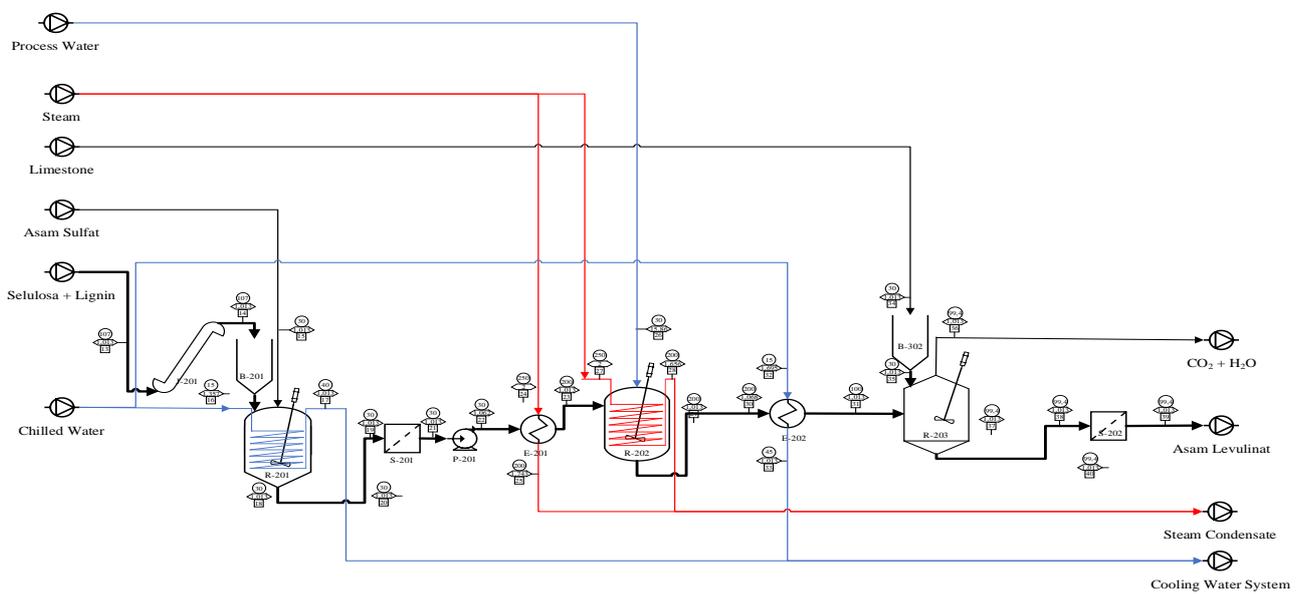
hari dan tahun 2018 sekitar 1,65 juta barel perhari.

Di samping meningkatkan kebutuhan akan energi, peningkatan jumlah penduduk juga mengakibatkan emisi karbon meningkat. Hal ini disebabkan karena aktivitas manusia sehari-hari melepaskan gas buang. Emisi karbon meningkat secara signifikan sejak tahun 1900an. tahun 1970, emisi karbon meningkat hampir 90% dengan emisi dari pembakaran bahan bakar fosil dan proses industri menyumbang sekitar 78% dari total emisi. Selain akibat pembakaran bahan bakar fosil dan proses industri, sektor pertanian juga berperan dalam peningkatan emisi karbon sebanyak 21% [1].

Selain meningkatkan kebutuhan akan energi dan meningkatkan emisi karbon, pertambahan jumlah penduduk juga menyebabkan permintaan produksi pertanian terus meningkat. Produksi pertanian dalam lima dekade terakhir telah meningkat lebih dari tiga kali lipat. Faktor lain yang



Gambar 1. Diagram alir proses pre-treatment.



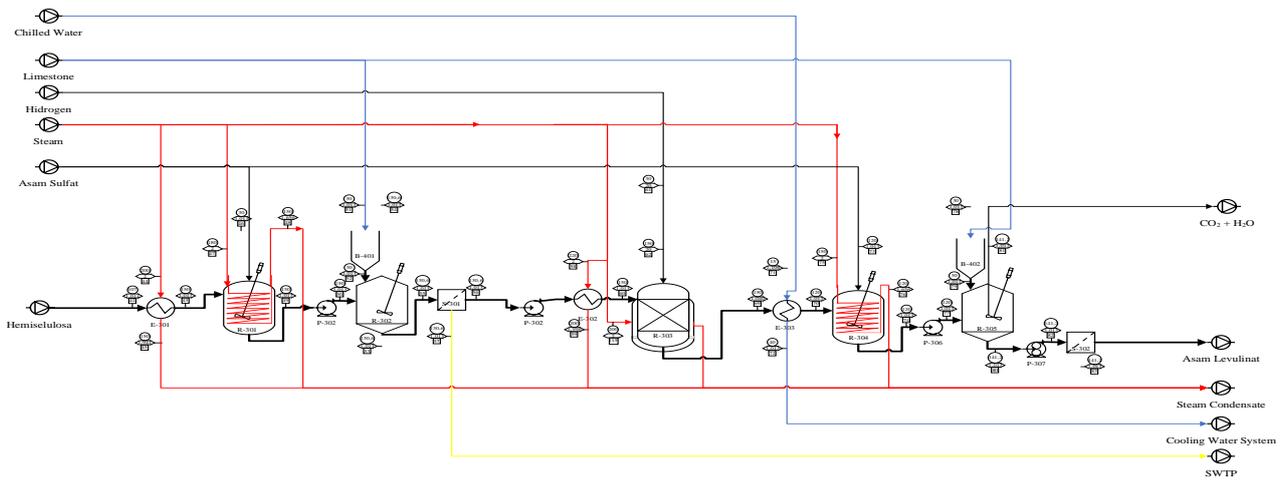
Gambar 2. Diagram alir proses pembentukan asam levulinat dari selulosa.

menyebabkan peningkatan produksi pertanian adalah kemajuan teknologi menuju revolusi hijau dan perluasan lahan untuk produksi pertanian. Diperkirakan bahwa sektor pertanian menghasilkan sekitar 24 juta ton makanan secara global dengan risiko kesehatan yang menyertainya dan ancaman terhadap ekosistem. Manusia tidak dapat hidup tanpa pertanian karena pangan merupakan kebutuhan di seluruh dunia, tetapi dampak pertanian terhadap lingkungan juga nyata. Pengaruh negatif pertanian terhadap lingkungan, kehidupan akuatik, dan kesehatan manusia mengharuskan peningkatan produksi pertanian, yang melibatkan cara-cara penanganan limbah padat pertanian yang efektif dan efisien [2].

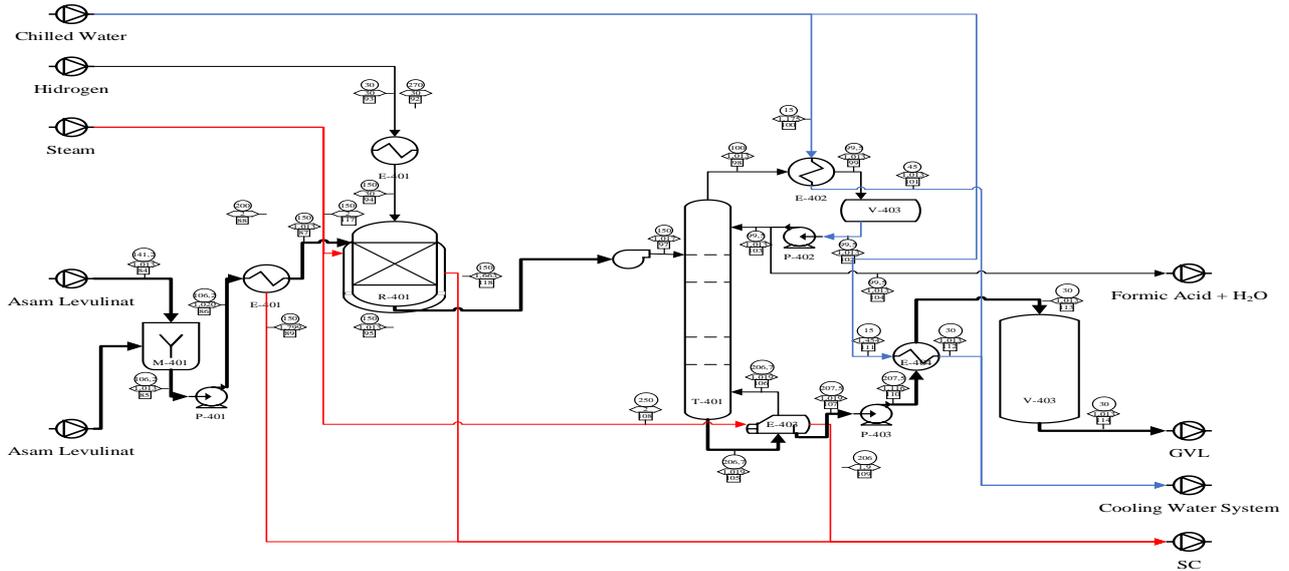
Dikarenakan emisi karbon yang semakin meningkat setiap tahunnya, dunia saat ini sedang dilanda oleh bencana perubahan iklim yang bisa berdampak buruk terhadap kehidupan manusia di masa depan. Saat ini, negara-negara di dunia sedang berusaha untuk mengurangi emisi karbon dengan cara mengganti sumber energi yang berbahan dasar fosil (energi tidak terbarukan) menjadi energi terbarukan. Energi terbarukan menawarkan solusi untuk banyak masalah lingkungan dan sosial yang terkait dengan bahan bakar fosil

dan nuklir. Ada banyak sumber energi terbarukan yang bisa dimanfaatkan, misalnya angin, air, dan biomassa. Biomassa adalah sumber energi terbarukan yang berpotensi untuk menyediakan pasokan energi yang hemat biaya dan berkelanjutan.

Biomassa dapat diperoleh dari beberapa sumber, salah satunya adalah limbah pertanian. Ada berbagai macam limbah pertanian, salah satunya adalah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS). TKKS adalah limbah pertanian yang dihasilkan dari pabrik kelapa sawit. Jumlah limbah TKKS yang dihasilkan setiap harinya sangat besar, yaitu sejumlah 6.663.956 juta ton [3]. Limbah TKKS memiliki dampak yang signifikan terhadap lingkungan jika tidak ditangani dengan aman dan secara sanitasi. Limbah ini akan menimbulkan bahaya besar bagi lingkungan karena sebagian besar limbah TKKS dibiarkan tidak terpakai dan ditangani sebagai limbah padat. Biomassa ini menimbulkan masalah dengan pengolahan dan pembuangan limbah, pembuangan/penimbunan terbuka, dan kontaminasi air tanah dari lindi. Selain itu, pembakaran biomassa menyebabkan emisi bahaya kabut asap dan bahan kimia beracun seperti dioksin. Oleh karena itu, perlu adanya pemanfaatan limbah



Gambar 3. Diagram alir proses pembentukan asam levulinat dari hemielulosa.



Gambar 4. Diagram balok proses pemurnian.

yang murah dan melimpah ini dengan lebih baik dengan cara diolah menjadi zat yang bermanfaat dan memiliki nilai ekonomis [4].

Limbah TKKS dapat diolah menjadi berbagai macam produk, salah satunya adalah Gamma-Valerolakton (GVL). GVL adalah senyawa yang dihasilkan dari biomassa yang dianggap sebagai salah satu bahan kimia yang paling bernilai tambah. GVL memiliki karakteristik stabilitas tinggi, tekanan uap rendah, toksisitas rendah dan penyimpanan yang aman. Karena sifat fisikokimia yang sangat baik, GVL telah menjadi bahan kimia berbasis biomassa yang banyak digunakan. Hal ini telah menarik banyak perhatian karena aplikasinya yang luas dalam industri makanan, farmasi, petrokimia dan aspek lainnya. Nilai $\Delta H_{c,liq}$ GVL adalah $-2,65$ MJ/mol, yang dapat langsung digunakan sebagai bahan bakar cair atau aditif bahan bakar berkualitas tinggi (nilai etanol dan metil tert-butil eter adalah $-1,37$ MJ/mol dan $-3,37$ MJ/mol, masing-masing). GVL juga merupakan pelarut yang ideal untuk pretreatment biomassa. GVL adalah bahan baku ramah lingkungan yang dapat digunakan dalam sintesis organik untuk menyiapkan serangkaian bahan kimia penting seperti ϵ -kaprolaktam, ester valerik, dan lain-lain. GVL juga dianggap sebagai prekursor ideal untuk sintesis hidrokarbon cair [5]. Produksi gamma valerolakton dari TKKS dapat menjadi salah satu solusi pengolahan limbah TKKS.

GVL memiliki banyak kegunaan. Dalam industri kimia, GVL digunakan sebagai bio-based green solvents. Hal ini dikarenakan GVL adalah cairan yang stabil pada suhu kamar dan memiliki toksisitas yang sangat rendah (LD_{50} tikus oral = 8.800 mg/kg). GVL memiliki banyak sifat yang sangat baik menjadikannya pilihan ideal untuk alternatif pelarut polar tradisional. Polaritas GVL dan pelarut polar umum lainnya sangat mirip; Misalnya, konstanta dielektrik GVL yang diukur adalah $36,47$ pada $25^{\circ}C$, sedangkan konstanta dielektrik DMF, NMP, CH_3CN , dan DMA berturut-turut adalah $36,7$; $32,0$; $37,5$; dan $37,8$ [6]. Dalam bidang energi, GVL digunakan sebagai bahan aditif bahan bakar. Konversi energi dari glukosa menjadi GVL adalah 97% dan energi pembakarannya mirip dengan etanol ($29,7$ MJ/kg). Dengan memanfaatkan bahan baku murah, GVL dapat diproduksi dengan harga berkisar antara 2 hingga 3 USD/galon, yang menjadikannya sebagai bahan bakar nabati potensial yang cukup murah dan praktis. Namun, dibandingkan dengan bahan bakar fosil, GVL memiliki kepadatan energi dan angka setana yang lebih rendah dan kelarutan dalam air yang lebih tinggi, yang membatasi aplikasi langsungnya dalam produksi bahan bakar transportasi [7].

Negara-negara di dunia sudah mulai memproduksi dan mengeksport GVL. Negara-negara tersebut adalah Amerika Serikat, Perancis, Inggris, Singapura, Swiss, Jepang, India dan

China dimana negara-negara tersebut mengekspor ke India. Berdasarkan DataIntel, pasar global GVL diperkirakan akan tumbuh pada CAGR sebesar 5,02% dari tahun 2022 hingga 2030. Pertumbuhan di pasar ini dapat dikaitkan dengan meningkatnya permintaan GVL dari berbagai industri pengguna akhir seperti sebagai zat aditif untuk makanan, pelarut, intermediet monomer, dan lain-lain.

Meningkatnya permintaan GVL harus diimbangi dengan produksi yang meningkat. Sayangnya, data produksi, konsumsi, ekspor, dan impor GVL sulit ditemukan. Sampai saat ini belum ada publikasi atau situs yang menyebutkan data produksi konsumsi, ekspor, dan impor GVL.

II. DATA DASAR PERANCANGAN

A. Ketersediaan dan Kualitas Bahan Baku

Dalam pembuatan GVL, kualitas bahan baku yaitu limbah TKKS sangat penting untuk diperhatikan. Spesifikasi limbah TKKS adalah pada Tabel 1 [8].

B. Penentuan Kapasitas Produksi

Salah satu faktor yang perlu diperhatikan saat akan merancang suatu pabrik adalah kapasitas pabrik. Untuk menentukan kapasitas produksi pabrik sehingga dapat dikatakan layak untuk didirikan, dapat dilihat pada data impor, ekspor, konsumsi dan produksi. Karena data impor, ekspor, konsumsi pada Tabel 2 dan Tabel 3, dapat diperkirakan kapasitas produksi Bensin pada tahun 2025 menggunakan persamaan discounted berikut (Tabel 4):

$$P_{2025} = P_{2021} (1 + i)^n$$

keterangan :

P = kapasitas produksi

n = selisih tahun = 2025 - 2021 = 4

Kebutuhan pabrik dihitung dengan persamaan:

$$KB = (Ekspor + Konsumsi) - (Impor + Produksi)$$

$$KB = (631.593,60 + 2.352.992,82) - (732.791,95 + 6.012,26)$$

$$KB = 2.245.782,22 \text{ juta liter}$$

Dianggap GVL digunakan sebanyak 10% sebagai fuel additive, sehingga kapasitas produksinya pada tahun 2025 adalah 224.578,22 juta liter. Angka ini adalah kapasitas produksi global secara keseluruhan, mengingat beberapa negara sudah mulai memproduksi GVL dan mengekspornya ke Amerika Serikat. Dari perhitungan tersebut terlihat bahwa secara global produksi GVL belum seimbang dengan jumlah kebutuhan di Amerika Serikat, sehingga perlu adanya pabrik baru untuk memenuhi kebutuhan fuel additive.

Penentuan kapasitas pabrik GVL juga mengacu kepada cadangan bahan baku pada lokasi pabrik dan juga produksi GVL kompetitor. Dengan pertimbangan tersebut, kapasitas pabrik GVL yang didirikan adalah 3372 ton per tahun (3,21 juta liter per tahun) dengan menyumbang 0,0014% dari kapasitas produksi Amerika Serikat

C. Lokasi dan Ketersediaan Utilitas

Memilih lokasi pabrik merupakan bagian krusial dari perencanaan pembangunan pabrik karena lokasi geografisnya memiliki pengaruh signifikan terhadap keberhasilan dan kelangsungan hidup pabrik tersebut. Hal ini karena lokasi memengaruhi biaya tetap dan biaya variabel dalam jangka

menengah dan panjang. Lokasi pabrik yang ideal harus memberikan keuntungan jangka panjang untuk perusahaan dan masyarakat sekitar serta memungkinkan untuk memperluas atau meningkatkan kapasitas produksi. Dalam pemilihan lokasi pabrik, beberapa faktor telah dipertimbangkan, termasuk ketersediaan bahan baku, lokasi pemasaran, sumber energi listrik dan air, sumber tenaga kerja, aksesibilitas dan fasilitas transportasi, hukum dan peraturan, serta iklim dan topografi. Dari berbagai faktor tersebut, penentuan lokasi pabrik dilakukan dengan metode Analytical Hierarchy Process (AHP) dengan bantuan aplikasi Expert Choice. Lokasi yang paling optimal untuk didirikan pabrik GVL dari limbah tandan kosong kelapa sawit berada di Provinsi Riau tepatnya di Kota Dumai. Hal ini karena kawasan tersebut terletak di Kota Dumai dimana Kota Dumai merupakan bagian dari Wilayah Pusat Pertumbuhan Industri (WPPI). Selain itu Kawasan Industri Dumai termasuk ke dalam kawasan industri sehingga memudahkan dalam proses perizinan, penyediaan utilitas, dan pengolahan limbah. Alasan lainnya adalah karena ketersediaan bahan baku yang melimpah.

III. URAIAN PROSES

Secara umum, produksi GVL terbagi menjadi empat tahapan utama, yaitu Pre-Treatment bahan baku, pembentukan asam levulinat dari selulosa dan hemiselulosa, serta pembuatan GVL dari asam levulinat yang dijelaskan melalui diagram alir sebagai berikut:

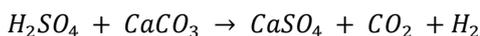
A. Tahap Pre-Treatment

Limbah TKKS yang didapat dari pabrik kelapa sawit akan dikumpulkan dalam gudang penyimpanan (F-101) sebelum diproses lebih lanjut. Selanjutnya, limbah TKKS dari gudang penyimpanan dipindahkan menggunakan belt conveyor (J-101) menuju rotary washer (A-101) untuk dilakukan pencucian. Setelah dicuci, limbah TKKS dicacah menggunakan shredder (H-101) supaya dapat menghasilkan ukuran 0,3 cm – 0,6 cm. Hasil cacahan dari shredder (H-101) kemudian dimasukkan ke dalam steam explosion reactor (R-101). Dalam steam explosion reactor (R-101), limbah TKKS akan dikontakkan dengan steam jenuh bersuhu 180°C dan tekanan 10 bar selama 10 menit. Limbah TKKS bergerak dalam reaktor dengan screw conveyor yang berputar dengan kecepatan disesuaikan waktu kontak steam. TKKS selama di dalam reaktor terpecah menjadi komponen utama lignoselulosa yaitu; selulosa, hemiselulosa dan lignin karena perlakuan hidrotermal dari steam. Tepat sebelum keluar reaktor, limbah TKKS akan melewati expansion valve untuk menurunkan tekanan menuju tekanan atmosfer. Penurunan tekanan ini membantu mempercepat penguraian menjadi komponen utama lignoselulosa dimana peristiwa ini disebut sebagai reaksi ledakan. Limbah TKKS keluar reaktor berbentuk slurry akan disalurkan menuju expansion chamber (V-101), uap air yang tidak terserap slurry TKKS akan keluar melalui bagian atas V-101 sedangkan slurry TKKS keluar melalui bawah V-101 dan masuk ke dalam screw press (S-101) untuk memisahkan selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Selulosa akan tercampur dengan lignin karena fasanya padat, sedangkan hemiselulosa akan terpisah karena fasanya cair. Selanjutnya selulosa dan hemiselulosa akan diproses ke tahap

sintesis asam levulinat sesuai kondisi dan yang tepat untuk menghasilkan produk yang tinggi (Gambar 1).

B. Tahap Pembentukan Asam Levulinat dari Selulosa

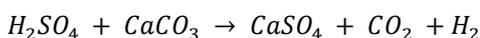
Selulosa dan lignin dipindahkan ke dalam hopper bin (B-201) menggunakan bucket elevator (J-201) untuk menampung selulosa dan lignin sebelum memasuki reaktor hidrolisis selulosa (R-201). Selanjutnya, selulosa dan lignin masuk menuju R-201 untuk menghidrolisis selulosa menjadi monomernya, yaitu glukosa. Reaksi hidrolisis selulosa dilakukan pada suhu 30°C dan tekanan 1,013 bar dan dibantu oleh asam sulfat 72% berat. Suhu R-201 dijaga agar tetap pada suhu 30°C dengan pendingin Chilled Water (CW) melalui coil (Gambar 2). Asam sulfat berfungsi untuk meningkatkan yield glukosa yang dihasilkan [9]. Produk glukosa dan lignin keluar dari bawah R-201 dialirkan menuju screw press (S-201). Pada S-201 lignin dipisahkan dari glukosa. Berikutnya glukosa dipindahkan ke dalam heat exchanger (E-201) Pada E-201 Glukosa dipanaskan sebelum dimasukkan ke dalam reaktor pembentukan asam levulinat (R-202). Reaksi pembentukan asam levulinat dilakukan pada suhu 200°C dan tekanan 15,86 bar. Glukosa yang masuk R-202 masih mengandung asam sulfat 72% berat sehingga pada reaktor ditambah air untuk mengencerkan agar asam sulfat yang digunakan untuk reaksi hidrolisis menjadi 5% berat. Setelah itu, dihasilkan asam levulinat dengan konversi 90%. Untuk mempertahankan suhu reaktor tetap 200°C digunakan steam melalui coil. Produk yang dihasilkan pada pembuatan asam levulinat dari selulosa yaitu asam levulinat, asam formiat. Selanjutnya, campuran asam levulinat, asam formiat dipindahkan ke dalam heat exchanger (E-202) untuk didinginkan dengan cooling water sampai suhu 101°C. Setelah itu, dilakukan netralisasi dengan bantuan limestone. Netralisasi bertujuan untuk menghilangkan asam sulfat. Limestone yang digunakan berlebih agar netralisasi berjalan sempurna dan CaSO₄ mengendap. Reaksi netralisasi yang terjadi seperti berikut:



Kemudian, produk dialirkan menuju screw press (S-202) untuk memisahkan cake gypsum dengan asam levulinat.

C. Tahap Pembentukan Asam Levulinat dari Hemiselulosa

Hemiselulosa dimasukkan ke dalam heat exchanger (E-301) untuk dilakukan pre-heating supaya mencapai temperatur 150°C dengan tekanan atmosferik sesuai kondisi reaktor (R-301). Di dalam R-301 terjadi reaksi hidrolisis untuk mengkonversi monomer hemiselulosa menjadi 5-HMF dan furfural. Di dalam R-301 dibantu dengan asam sulfat 3% berat untuk mengkatalisis hidrolisis dan untuk mempertahankan temperatur reaksi digunakan steam dalam coil. Selanjutnya dilakukan netralisasi pada tangki netralisasi (R-302) untuk menghilangkan asam sulfat dengan menggunakan limestone berlebih dengan reaksi netralisasi sebagai berikut:

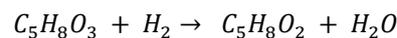


Karbon dioksida hasil reaksi keluar dengan air melalui bagian atas tangki dan slurry hasil reaksi keluar melalui bagian bawah tangki dan dipindahkan menuju screw press (S-301) dipisahkan dengan padatan gypsum. Cairan berupa furfural yang terpisah dengan padatan dipanaskan dengan

heat exchanger (E-302) sebelum memasuki reaktor hidrogenasi katalitik (R-303) untuk membentuk furfural alkohol dengan bantuan katalis Co/SiO₂ pada kondisi 20 bar dengan suhu operasi 150°C. Furfural alkohol selanjutnya dihidrolisis di reaktor (R-304) untuk membentuk asam levulinat dengan bantuan asam sulfat 3% berat pada kondisi operasi 150°C dengan tekanan atmosferik. Setelah dilakukan hidrolisis, asam sulfat dihilangkan dengan menggunakan limestone berlebih dengan reaktor (R-305) dimana karbon dioksida terbentuk sebagai hasil reaksi keluar dengan air melalui bagian atas tangki dan slurry hasil reaksi keluar melalui bawah tangka. Asam levulinat sebagai produk utama dipindahkan menuju screw press (S-402) untuk dipisahkan dengan padatan gypsum (Gambar 3).

D. Tahap Pembentukan GVL dari Asam Levulinat

Asam levulinat hasil dari jalur hemiselulosa dan jalur selulosa memasuki tangki pencampur (M-401). Setelah keluar M-401 disalurkan menggunakan dengan pompa P-401 menuju heat exchanger (E-401) untuk mencapai suhu 150°C sesuai kondisi operasi reaktor (R-401) (Gambar 4). Setelah mencapai suhu 150°C, asam levulinat dimasukkan ke dalam reaktor (R-401) untuk mengalami reaksi hidrogenasi katalitik dengan gas hidrogen dan dengan bantuan katalis Cu/ZrO₂ sehingga terbentuk GVL. Reaktor yang digunakan adalah fixed bed dengan tekanan 30 bar berasal dari tekanan hidrogen. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut.



Selanjutnya dihasilkan produk berupa GVL dan H₂O ekuimolar. H₂O perlu dipisahkan dengan proses distilasi pada kolom (T-401) untuk meningkatkan konsentrasi GVL. Produk atas yang dihasilkan adalah H₂O dan produk bawah yang dihasilkan adalah GVL 99,99%. Selanjutnya GVL dipindahkan dengan pompa (P-403) menuju heat exchanger (E-404) sebelum disimpan dalam tangki penyimpanan (V-403).

IV. NERACA MASSA DAN ENERGI

Berdasarkan perhitungan neraca massa diperoleh bahwa pabrik memiliki kapasitas produksi GVL sebesar 3.372 ton/tahun membutuhkan bahan baku TKKS sebesar 1.996,5 kg/jam. Dalam proses produksi GVL ini diperlukan bahan pendukung berupa H₂SO₄ sebanyak 2.070,564 kg/jam, gas hidrogen sebanyak 10,735 kg/jam dan limestone sebanyak 154.676 kg/jam. Dari proses produksi GVL membutuhkan steam sebesar 5.828.818,88 kg/jam dengan kebutuhan air pendingin sebesar 571.262,48 kg/jam dan kebutuhan daya sebesar 3.011,78 hp.

V. ANALISA EKONOMI

Untuk memulai pembangunan sebuah pabrik, diperlukan penilaian terhadap kelayakan pabrik yang mencakup analisis ekonomi. Salah satu faktor yang dapat digunakan untuk menentukan kelayakan tersebut adalah melalui perhitungan bahan baku dan produk yang dihasilkan berdasarkan perhitungan neraca massa. Neraca massa dan energi juga digunakan untuk menentukan spesifikasi dan harga peralatan yang dibutuhkan dalam proses produksi. Selanjutnya, analisis ekonomi dilakukan dengan mempertimbangkan biaya operasi

dan utilitas, jumlah dan gaji karyawan, serta akuisisi lahan untuk membangun pabrik. Beberapa faktor yang digunakan dalam analisis ekonomi tersebut meliputi Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Pay Out Time (POT), dan sensitivitas terhadap IRR.

A. Asumsi-Asumsi

Perhitungan analisis ekonomi dilakukan dengan menggunakan discounted cash flow yang nilainya diproyeksikan pada masa sekarang. Dalam perhitungannya, berikut adalah asumsi-asumsi yang digunakan untuk analisis.

- a. Kapasitas produksi pabrik: 3372 ton/tahun
- b. Modal investasi: Modal sendiri (equity): 50%, Modal pinjaman (loan): 50%, Bunga Bank: 7,95%/tahun (BCA), Laju Inflasi: 4,28%/tahun (Bank Indonesia)
- c. Masa umur pabrik: 20 tahun dengan depresiasi 10%
- d. Basis perhitungan ekonomi: 1 tahun
- e. Pajak pendapatan Pasal 17 Ayat 2a UU PPh No.17, Tahun 2010 sebesar 35% untuk pendapatan lebih dari Rp5.000.000.001
- f. Nilai tukar rupiah (1 USD): Rp15.633,90 (Bank Indonesia)
- g. Tahun pengadaan peralatan: 2023
- h. Tahun Mulai konstruksi: 2023
- i. Lama konstruksi: 2 tahun: Tahun pertama menggunakan 50% modal sendiri (equity) dan 50% sisa modal pinjaman bank (loan), Tahun kedua menggunakan sisa modal sendiri (equity) dan sisa modal pinjaman bank (loan)
- j. Tahun mulai operasi: 2025
- k. Kapasitas produksi tahun pertama 60%, tahun kedua 80%, dan tahun ketiga 100%
- l. Metode pembayaran: pada masa awal konstruksi (tahun pertama (-2)) dilakukan pembayaran sebesar 50% dari pinjaman bank (loan) untuk keperluan pembelian tanah dan uang muka. Pada akhir tahun kedua konstruksi (tahun kedua (-1)) dibayarkan dengan sisa modal pinjaman bank (loan).

B. CAPEX dan OPEX

Biaya yang diperlukan untuk membangun dan menjalankan pabrik ini dikategorikan menjadi dua, yaitu CAPEX (Capital Expenditures) dan OPEX (Operational Expenditures). Capital Expenditures atau belanja modal adalah sejumlah uang yang harus disediakan untuk pembuatan, konstruksi, dan mengoperasikan pabrik untuk beberapa waktu. Operational Expenditures atau belanja operasional adalah biaya dikeluarkan untuk menjalankan kegiatan operasi pabrik agar menghasilkan suatu produk.

Berdasarkan perhitungan belanja pabrik yang dilakukan, belanja modal atau Capital Expenditure (CAPEX) pabrik GVL yang diambil dari nilai FCI (Fixed Capital Investment) sebesar Rp1.159.220.498.150,00. Sementara itu, belanja operasional atau Operating Expenses (OPEX) yang diambil dari nilai TPC (Total Production Cost) sebesar Rp2.790.992.607305,00.

C. Faktor Kelayakan Pendirian

Faktor kelayakan pendirian terlihat pada Tabel 5.

VI. ASPEK SOSIAL DAN LINGKUNGAN

Aspek sosial dan lingkungan merupakan dua aspek yang

penting terkait pendirian pabrik pada suatu daerah. Hal tersebut dikarenakan kedua aspek ini menyangkut dengan penduduk yang tinggal di sekitar Kawasan pabrik yang akan dibangun.

A. Aspek Sosial

Pendirian pabrik GVL secara garis besar memiliki dampak sosial seperti peluang meningkatkan ekonomi masyarakat dengan terbukanya lapangan pekerjaan baru. Selain itu, dengan munculnya pabrik ini dapat memicu muncul sarana dan prasarana umum baru di sekitar lokasi sehingga hal ini juga berdampak pada perhatian fasilitas umum lebih intensif. Dampak sosial ini tentunya akan berpeluang meningkatkan perekonomian lokal seperti peningkatan PDRB dan PAD. Bagi negara juga memiliki dampak positif dalam Meningkatkan pemerataan pembangunan (dengan prioritas pembangunan di daerah tertentu). Biasanya untuk proyek-proyek tertentu pemerintah menetapkan wilayah atau daerah tertentu yang hanya dibuka. Dengan tujuannya adalah untuk pemerataan pembangunan dan pembukaan wilayah yang selama ini terisolasi di seluruh wilayah Indonesia.

B. Aspek Lingkungan

Jika ditinjau dari aspek lingkungan, pendirian pabrik GVL ini hampir tidak menghasilkan limbah yang berbahaya bagi lingkungan jika dibuang pada tempatnya. Pembangunan pabrik GVL ini memiliki dampak yang ditimbulkan, seperti berkurangnya lahan hijau (hutan) dikarenakan beralih fungsi menjadi lahan industri. Akibatnya, memungkinkan terjadinya kerusakan lingkungan akibat limbah yang dihasilkan, seperti pencemaran air dan tanah yang disebabkan oleh limbah zat-zat kimia sisa proses produksi. Program Corporate Social Responsibility (CSR) juga dibentuk untuk mengatasi permasalahan lingkungan dengan melakukan kegiatan berupa penghijauan lingkungan di sekitar lokasi pendirian industri. Selain itu, perusahaan dapat melakukan upaya untuk memperkecil jumlah limbah yang dihasilkan dengan melakukan pemilihan bahan baku dan peralatan yang ramah lingkungan serta melakukan pengolahan limbah secara bijak agar tidak merusak lingkungan. Mengingat pabrik yang akan didirikan merupakan pabrik yang eksplosif, maka dalam pelaksanaannya pabrik ini banyak ditumbuhi oleh tanaman-tanaman dan jauh dari rumah penduduk, serta memastikan telah terdapat safety yang memadai agar tidak terjadi hal-hal yang tidak diinginkan.

VII. KESIMPULAN

Dari hasil-hasil yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya, dapat disimpulkan sebagai berikut: (1) Perencanaan Operasi: Kontinu 24 jam 330 hari/tahun. (2) Kapasitas Produksi: 3372 Ton/tahun. (3) Umur Pabrik: 20 tahun. (4) Masa Konstruksi: 2 tahun. (5) Analisis ekonomi: IRR: 32,3%, POT: 4 tahun 3 bulan, BEP: 43,69%, NPV: Rp2.464.056.135.305,00. Dari hasil Analisis ekonomi diatas dapat disimpulkan bahwa pabrik Gamma Valerolactone (GVL) Berbasis Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit layak untuk didirikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Norton and Y. Ouyang, "Controls and adaptive management of

- nitrification in agricultural soils,” *Front. Microbiol.*, vol. 1, no. 1, p. 1931, 2019, doi: 10.3389/fmicb.2019.01931.
- [2] J. Pathma and N. Sakthivel, “Microbial diversity of vermicompost bacteria that exhibit useful agricultural traits and waste management potential,” *Springerplus*, vol. 1, p. 26, 2012, doi: 10.1186/2193-1801-1-26.
- [3] R. N. Yanti and I. L. Hutasuhut, “Potensi limbah padat perkebunan kelapa sawit di Provinsi Riau,” *Wahana For. J. Kehutan.*, vol. 15, no. 2, pp. 1–11, 2020, doi: 10.31849/forestra.v15i2.4696.
- [4] M. A. Elias, T. Hadibarata, and P. Sathishkumar, “Modified oil palm industry solid waste as a potential adsorbent for lead removal,” *Environ. Chem. Ecotoxicol.*, vol. 3, pp. 1–7, 2021, doi: 10.1016/j.enceco.2020.10.003.
- [5] Y. Ji, H. Liu, F. Wang, and X. Guo, “Conversion of biomass to γ -valerolactone by efficient transfer hydrogenation of ethyl levulinate over Al-SPAN nanosheets,” *Catal. Today*, vol. 408, pp. 73–80, 2023, doi: 10.1016/j.cattod.2022.09.001.
- [6] X. Shen, D. Xia, Y. Xiang, and J. Gao, “ γ -valerolactone (GVL) as a bio-based green solvent and ligand for iron-mediated AGET ATRP,” *e-Polymers*, vol. 19, no. 1, pp. 323–329, 2019, doi: 10.1515/epoly-2019-0033.
- [7] S. Dutta *et al.*, “Green synthesis of gamma-valerolactone (GVL) through hydrogenation of biomass-derived levulinic acid using non-noble metal catalysts: A critical review,” *Chem. Eng. J.*, vol. 372, pp. 992–1006, 2019, doi: 10.1016/j.cej.2019.04.199.
- [8] N. Abdullah, F. Sulaiman, and H. Gerhauser, “Characterisation of oil palm empty fruit bunches for fuel application,” *J. Phys. Sci.*, vol. 22, no. 1, pp. 1–24, 2011.
- [9] J. Kong-Win Chang, X. Duret, V. Berberi, H. Zahedi-Niaki, and J.-M. Lavoie, “Two-step thermochemical cellulose hydrolysis with partial neutralization for glucose production,” *Front. Chem.*, vol. 6, no. 1, p. 117, 2018, doi: 10.3389/fchem.2018.00117.