



**PRARANCANGAN PABRIK γ -VALEROLACTONE (GVL) DARI AMPAS
TEBU DENGAN KAPASITAS 15.244 TON/TAHUN**

SKRIPSI

Oleh :

Moh. Nashir Idham Kholid

NIM. 191910401033

KEMENTRIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS JEMBER

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK KIMIA

JEMBER

2023



**PRARANCANGAN PABRIK γ -VALEROLACTONE (GVL) DARI AMPAS
TEBU DENGAN KAPASITAS 15.244 TON/TAHUN**

SKRIPSI

*Diajukan untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Sarjana pada program studi
Teknik Kimia*

Oleh :

Moh. Nashir Idham Kholid

NIM. 191910401033

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS JEMBER

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK KIMIA

JEMBER

2023



**PRARANCANGAN PABRIK γ -VALEROLACTONE (GVL) DARI AMPAS
TEBU DENGAN KAPASITAS 15.244 TON/TAHUN**

SKRIPSI

*Diajukan untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Sarjana pada program studi
Teknik Kimia*

Oleh :

Moh. Nashir Idham K. (191910401033)

Riatus Sholehah (191910401035)

Rico Dwi Irawan (191910401058)

KEMENTRIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS JEMBER

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK KIMIA

JEMBER

2023

PERSEMBAHAN

Tugas akhir berjudul Prarancangan Pabrik γ -Valerolactone (GVL) dari Ampas Tebu dengan Kapasitas 15.244 Ton/Tahun ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua orang tua tercinta, Abdullah Khumaidi dan Siti Nur Silah;
2. Kesebelas saudara saya: Mas Yayak, Mbak Nurul, Mbak Saroh, Mbak Rifa, Mbak Sofi, Mas Ahmad, Bilqis, Aziz, Habil, Lahuda, Faiq.
3. Almamater tercinta Program Studi Teknik Kimia Universitas Jember.
4. Teman seperjuangan: Riatus Sholehah dan Rico Dwi Irawan, serta teman-teman dari “Mahasambat” dan Teknik Kimia UNEJ yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu.

MOTTO

فَمَنْ لَمْ يَذُقْ مُرَّ التَّعَلُّمِ سَاعَةً ** تَجَرَّعَ دُلَّ الْجَهْلِ طُولَ حَيَاتِهِ

“Barangsiapa belum pernah merasakan pahitnya menuntut ilmu walau sesaat,

Ia kan menelan hinanya kebodohan sepanjang hidupnya.”

(Imam Syafi’i)

“Keyakinan adalah lebih baik dari pada rencana apapun”

(Pain Akatsuki)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Moh. Nashir Idham Kholid

NIM : 191910401033

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir yang berjudul: “*Prarancangan Pabrik γ -Valerolactone (GVL) dari Ampas Tebu dengan Kapasitas 15.244 Ton/Tahun*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, serta belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 26 Juli 2023

Yang menyatakan,

Moh. Nashir Idham Kholid

NIM. 191910401033

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi berjudul *Prarancangan Pabrik γ -Valerolactone (GVL) dari Ampas Tebu dengan Kapasitas 15.244 Ton/Tahun* telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari : Selasa

Tanggal : 18 Juli 2023

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Pembimbing

Tanda Tangan

1. Pembimbing Utama

Nama : Ir. Boy Arief Fachri, S.T., M.T., Ph.D., IPM. (.....)

NIP : 197409011999031002

2. Pembimbing Anggota

Nama : Zuhriah Mumtazah, S.Si., M.Si. (.....)

NIP : 199311022022032014

Penguji

1. Penguji Utama

Nama : Ir. Ditta Kharisma Yolanda Putri, S.T., M.T. (.....)

NIP : 199412212019032018

2. Penguji Anggota 1

Nama : Helda Wika Amini, S.si., M.Si., M.Sc. (.....)

NRP : 760018071

ABSTRACT

Energy derived from biomass has many advantages, such as abundant sources and affordable prices. Biomass waste can be used for the production of high-value fuels and chemicals. One potential fuel is γ -valerolactone (GVL), which is stable, has a high boiling point, and is low in toxicity. The γ -valerolactone (GVL) plant, made from bagasse as raw material, is designed with a capacity of 15,244 tons/year and an operating time of 330 days per year. The raw materials required are 160,907.54 tons per year. In this design, γ -valerolactone (GVL) is produced through several processes, namely pretreatment carried out using steam explosion and continued delignification to remove existing lignin levels, followed by the process of hydrolysis, dehydration, and hydration of cellulose, which produces levulinic acid, formic acid, and humin. This process uses a CSTR with the help of an acid chloride catalyst. The reaction is carried out at a pressure of 1 atm and a temperature of 180°C. The levulinic acid will then be fed into a hydrogenation reactor to produce GVL and water. This process operates in FBR at 180 °C, and H₂ is fed at 3 MPa pressure with the help of Ru/C heterogeneous catalyst. The water formed is separated using a flash drum to obtain γ -valerolactone (GVL) with a purity of 94% with a production amount of 15,244 tons per year. This plant is planned to be built in Glenmore District, Banyuwangi Regency, East Java Province, with a total land area of 42 hectares. The number of employees required is 144 people. The results of the economic analysis show that the net sales profit is Rp. 390,077,891,208.36. The rate of return on investment (ROI) is 18.39%. Pay out time (POT) is 4.88 years. Thus, the break-even point (BEP) reached 41.81%. Based on the economic evaluation, the γ -valerolactone (GVL) plant with a production capacity of 15,244 tons per year is feasible to build.

Keywords : *Biomass energy, cellulose, γ -valerolactone, bagasse, CSTR, FBR*

RINGKASAN

Energi yang berasal dari biomassa memiliki banyak keuntungan, seperti sumber yang melimpah dan harga yang terjangkau. Limbah biomassa dapat digunakan untuk produksi bahan bakar dan bahan kimia yang bernilai tinggi. Salah satu bahan bakar yang potensial adalah γ -valerolactone (GVL), yang stabil, memiliki titik didih yang tinggi, dan memiliki tingkat toksisitas yang rendah. Pabrik γ -valerolactone (GVL) berbahan baku ampas tebu ini dirancang dengan kapasitas 15.244 ton/tahun dan waktu operasi 330 hari per tahun. Bahan baku yang dibutuhkan sebanyak 160.907,54 ton per tahun. Pada prarancangan ini, γ -valerolactone (GVL) diproduksi melalui beberapa proses, yaitu pretreatment yang dilakukan dengan menggunakan steam explosion dan dilanjutkan delignifikasi untuk menghilangkan kadar lignin yang ada, kemudian dilanjutkan dengan proses hidrolisis, dehidrasi, dan hidrasi selulosa, yang menghasilkan asam levulinat, asam format, dan humin. Proses ini menggunakan CSTR dengan bantuan katalis asam klorida. Reaksi dilakukan pada tekanan 1 atm dan suhu 180°C. Asam levulinat kemudian diumpankan ke dalam reaktor hidrogenasi untuk menghasilkan GVL dan air. Proses ini beroperasi dalam FBR pada suhu 180°C, dan H₂ diumpankan pada tekanan 3 MPa dengan bantuan katalis heterogen Ru/C. Air yang terbentuk dipisahkan menggunakan flash drum untuk mendapatkan γ -valerolactone (GVL) dengan kemurnian 94% dengan jumlah produksi 15.244 ton per tahun. Pabrik ini direncanakan akan dibangun di Kecamatan Glenmore, Kabupaten Banyuwangi, Provinsi Jawa Timur, dengan luas tanah 42 hektar. Jumlah karyawan yang dibutuhkan sebanyak 144 orang. Hasil analisis ekonomi menunjukkan bahwa keuntungan penjualan bersih sebesar Rp. 390,077,891,208.36. Tingkat pengembalian investasi (ROI) sebesar 18,39%. Waktu pengembalian modal (Pay Out Time/POT) adalah 4,88 tahun. Dengan demikian, titik impas (BEP) mencapai 41,81%. Berdasarkan evaluasi ekonomi tersebut, maka pabrik γ -valerolactone (GVL) dengan kapasitas produksi 15.244 ton per tahun layak untuk didirikan.

Kata kunci: *Energi biomassa, selulosa, γ -valerolactone, ampas tebu, CSTR, FBR*

PRAKATA

Segala puji kehadiran Allah Yang Maha Kuasa atas limpahan rahmat dan taufiq-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan laporan tugas akhir perancangan pabrik yang berjudul “Prarancangan Pabrik γ -Valerolactone (GVL) dari Ampas Tebu dengan Kapasitas 15.244 Ton/Tahun”. Laporan ini disusun untuk memenuhi syarat kelulusan di Program Studi Teknik Kimia Universitas Jember. Dalam penyelesaian laporan ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Kementrian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi yang telah memberikan bantuan beasiswa Bidikmisi;
2. Yayasan Baitul Maal BRILiaN yang telah memberikan bantuan beasiswa Smart Scholarship dan Bright Scholarship;
3. Dr. Ir. Iwan Taruna, M.Eng., IPM. Selaku Rektor Universitas Jember.
4. Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T., IPM Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
5. Bapak Ir. Boy Arief Fachri, S.T., M.T., Ph.D., IPM. Selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jember sekaligus dosen pembimbing utama.
6. Ibu Zuhriah Mumtazah, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing anggota.
7. Ibu Ir. Ditta Kharisma Yolanda Putri, S.T., M.T. selaku dosen penguji utama dan ibu Helda Wika Amini, S.si., M.Si., M.Sc. selaku dosen penguji anggota.
8. Seluruh dosen pengajar Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jember.
9. Ayah dan Ibu, dan seluruh keluarga penulis yang senantiasa memberikan dukungan dan doa yang tulus dan tidak pernah terputus.
10. Teman-teman Teknik Kimia angkatan 2019 yang selalu memberikan dukungan.

Penulis

DAFTAR ISI

PERSEMBAHAN	i
MOTTO	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
ABSTRACT	v
RINGKASAN	vi
PRAKATA	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Sejarah dan Perkembangan.....	2
BAB 2. PERENCANAAN PABRIK.....	3
2.1. Pemilihan Kapasitas	3
2.2. Pemilihan Proses	4
2.2.1. Pretreatment	5
2.2.2. LA Production.....	6
2.2.3. GVL Production.....	7
2.3. Uraian Proses.....	8
2.3.1. Pretreatment (Steam explosion dan delignifikasi)	8
2.3.2. Produksi Asam Levulinat (LA).....	9
2.3.3. Produksi γ -valerolactone (GVL)	10
2.4. Spesifikasi Bahan	12
2.4.1. Ampas Tebu	12
2.4.2. Bahan Lain	12
2.5. Spesifikasi Produk.....	13
2.5.1. γ -Valerolactone (GVL)	13
2.6. Lokasi Pabrik dan Tata letak	14

2.6.1.	Lokasi Pabrik	14
2.6.2.	Sumber Bahan Baku.....	14
2.6.3.	Aspek Gaji, Populasi, dan Tenaga Kerja	14
2.6.4.	Akses Lokasi	14
2.6.5.	Tata Letak Pabrik	15
BAB 3.	NERACA MASSA, NERACA PANAS, DAN SPESIFIKASI ALAT..	16
3.1.	Neraca Massa dan Neraca Panas	16
3.2.	Spesifikasi Alat.....	17
BAB 4.	UTILITAS	19
4.1.	Unit Pengolahan dan Pengadaan Air.....	19
4.2.	Unit Pengadaan Steam (Uap)	19
4.3.	Unit Pengadaan Listrik	20
4.4.	Unit Pengadaan Bahan Bakar	20
4.5.	Unit Pengolahan Limbah	21
4.6.	Unit pengolahan hemiselulosa, dan GVL produk atas flash drum.....	22
4.7.	Unit Pengolahan Karbon Dioksida (CO ₂)	22
BAB 5.	MANAJEMEN PABRIK	23
5.1.	Bentuk Perusahaan	23
5.2.	Struktur Perusahaan.....	23
5.3.	Sistem Kepegawaian dan Sistem Gaji.....	24
5.4.	Pembagian Waktu Kerja.....	24
5.5.	Jumlah dan Gaji Karyawan	25
BAB 6.	EVALUASI EKONOMI DAN FAKTOR KESELAMATAN	28
6.1.	Evaluasi Ekonomi.....	28
6.2.	Keselamatan	30
6.2.1.	Faktor Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3).....	30
6.2.2.	Faktor Bahaya	30
6.2.3.	Alat Pelindung Diri (ADP)	30
6.2.4.	Identifikasi Hazard Bahan Kimia.....	31
BAB 7.	PENUTUP	32
7.1.	Kesimpulan.....	32

DAFTAR PUSTAKA	33
LAMPIRAN.....	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Grafik kapasitas produksi γ -valerolactone (GVL) global	3
Gambar 2. 2 <i>Process Flow Diagram</i> (PFD) produksi γ -valerolactone (GVL)...	11
Gambar 2. 3 <i>Block Flow Diagram</i> (BFD) produksi γ -valerolactone (GVL)	11
Gambar 2. 4 Tata Letak Pabrik.....	15
Gambar 5. 1 Struktur organisasi pabrik.....	23

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Komposisi Kimia Ampas Tebu	2
Tabel 2. 1 Kapasitas produksi γ -valerolactone (GVL).....	3
Tabel 2. 2 Perbedaan jenis katalis terhadap hasil reaksi selulosa menjadi asam levullinat (Kondisi reaksi: 180 °C).....	6
Tabel 2. 3 Perbedaan jenis pelarut terhadap hasil reaksi selulosa menjadi asam levullinat.....	6
Tabel 2. 4 Produksi GVL dari LA menggunakan katalis heterogen dan H ₂	7
Tabel 2. 5 Spesifikasi Bahan Ampas Tebu.....	12
Tabel 2. 6 Spesifikasi Bahan Lain	12
Tabel 2. 7 Spesifikasi Produk GVL.....	13
Tabel 3. 1 Neraca massa dan neraca panas gudang penyimpanan ampas tebu	16
Tabel 3. 2 Neraca massa dan neraca panas reaktor LA <i>production</i>	16
Tabel 3. 3 Neraca massa dan panas <i>cooler</i> GVL.....	16
Tabel 4. 1 Kebutuhan air	19
Tabel 4. 2 Peralatan yang membutuhkan pemanas <i>steam</i>	20
Tabel 4. 3 Jenis dan parameter bahan bakar.....	21
Tabel 5. 1 Kategori karyawan	24
Tabel 5. 2 Pembagian shift	24
Tabel 5. 3 Pembagian hari kerja karyawan shift	25
Tabel 5. 4 Jam kerja karyawan non-shift.....	25
Tabel 5. 5 Jumlah dan gaji pegawai	25
Tabel 6. 1 Kesimpulan analisa ekonomi.....	29
Tabel 6. 2 Identifikasi Hazard Bahan Kimia.	31

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dengan perkembangan industrialisasi, eksploitasi besar-besaran sumber daya fosil telah mendorong perkembangan pesat masyarakat, tetapi juga menyebabkan pencemaran lingkungan dan krisis energi. Untuk meringankan situasi pencemaran lingkungan dan krisis energi global, perlu pengembangan sumber daya baru yang ramah lingkungan dan terbarukan (Oubraham dan Zaccour, 2018). Penggunaan energi biomassa sebagai energi bersih terbarukan memiliki keuntungan karena memiliki sumber yang tersebar luas, cadangan melimpah dan harga murah. Limbah biomassa dapat digunakan sebagai bahan baku untuk produksi bahan bakar dan bahan kimia yang bernilai tambah tinggi (Ye dkk., 2020).

Tebu (*Saccharum officinarum linn*) merupakan tanaman yang hanya dapat tumbuh di daerah beriklim tropis dan subtropis. Pada umumnya tebu digunakan sebagai bahan baku dalam proses pembuatan gula. Menurut data dari Direktorat Jenderal Perkebunan (2019) jumlah produksi tebu di Indonesia mencapai 2,227 juta ton. Dengan banyaknya produksi tebu akan menyebabkan limbah ampas tebu yang dihasilkan juga semakin banyak. Ampas tebu merupakan produk samping yang dihasilkan dari pembuatan gula melalui penggilingan. Jumlah limbah ampas tebu dapat mencapai 35-40% dari tebu gilingan. Sehingga dapat diperkirakan limbah ampas tebu yang dihasilkan pada tahun 2020 mencapai 779.466 hingga 890.818 ton (Adhiksana dkk., 2022)

Ampas tebu sebagai limbah pabrik gula merupakan salah satu bahan lignoselulosa yang potensial untuk dikembangkan lebih lanjut sehingga menghasilkan produk yang memiliki nilai jual tinggi. Ketersediaannya yang cukup melimpah, terutama sebagai limbah pertanian, perkebunan, dan kehutanan, menjadikan bahan ini berpotensi sebagai salah satu sumber yang dapat dimanfaatkan melalui konversi, baik proses fisika maupun kimia (Hermiati dkk., 2010). Komposisi kimia ampas tebu / *sugarcane bagasse* seperti pada tabel berikut.

Tabel 1. 1 Komposisi Kimia Ampas Tebu

Komponen	Komposisi Kimia (wt.%)
Selulosa (heksosa)	46
Hemiselulosa (pentosa)	27
Lignin	23
Pektin	0
Ash	4

Sumber: Pippo & Luengo (2013)

γ -Valerolactone (GVL) merupakan turunan biomassa yang dapat digunakan sebagai sumber karbon terbarukan untuk produksi bahan bakar cair dan senyawa kimia lainnya. Fraksi selulosa dapat digunakan sebagai bahan awal untuk memproduksi GVL (Mosier dkk., 2005). Diantara sumber energi terbarukan seperti biodiesel, bioetanol, biometana dan biohidrogen, γ -valerolactone (GVL) merupakan bahan bakar potensial yang bersifat stabil pada kondisi normal, memiliki titik didih yang tinggi dan toksisitas yang rendah.

1.2. Sejarah dan Perkembangan

Seiring dengan peningkatan konsumsi bahan bakar minyak, γ -valerolactone (GVL) dapat digunakan menjadi *blending* bahan bakar. Senyawa ini diperoleh dengan reaksi katalitik hidrogenasi dilanjutkan dengan penutupan cincin pada intermediet asam 4-hidroksi pentanoat. Kegunaan senyawa ini antara lain sebagai bahan campuran aditif yang terbarukan pada bahan bakar transportasi, pengganti etanol pada campuran bahan bakar-etanol, dan mampu menjadi *precursor green polymer* untuk berbagai biopolimer (Zhou dkk., 2020).

γ -Valerolactone (GVL) dapat diperoleh dengan reaksi hidrogenasi dari *levulinic acid* dengan bantuan katalis *noble metal* (Yan dkk., 2015). Sifat γ -valerolactone (GVL) yang tidak membentuk sebuah azeotrop dengan air, sehingga menjadi pilihan yang lebih tepat dalam pembuatannya yaitu membutuhkan energi yang lebih rendah dibanding etanol absolut (Bangalore Ashok dkk., 2022).

BAB 2. PERENCANAAN PABRIK

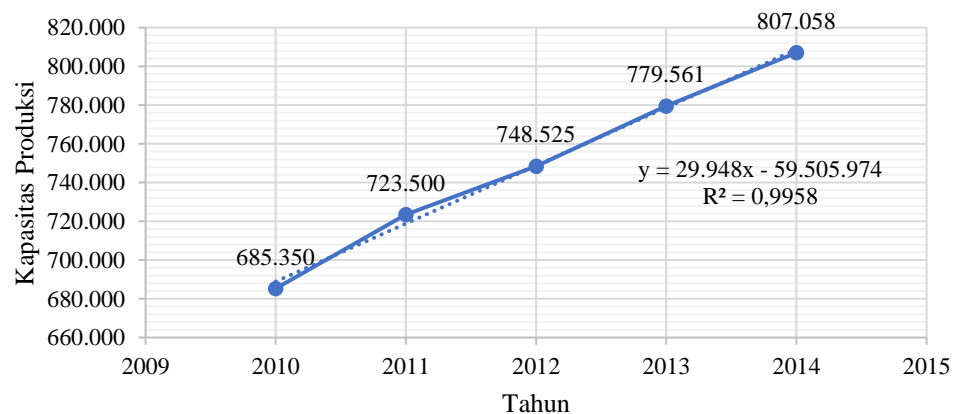
2.1. Pemilihan Kapasitas

Penentuan kapasitas produksi dilakukan dengan mempertimbangkan permintaan pasar dan juga berdasarkan ketersediaan bahan baku utama berupa ampas tebu (Sugiatna, 2021). Dalam produksi γ -valerolactone (GVL), produk dapat mengarah pada berbagai sektor industri polimer, *biofuel*, dan lain-lain. Melalui reaksi hidrolisis, dehidrasi, dan hidrogenasi biomassa lignoselulosa mampu menghasilkan γ -valerolactone (GVL) yang memiliki nilai jual tinggi. Berdasarkan data *Research and Markets* dalam laporan Soegiarto & Handoyo (2015), kapasitas produksi γ -valerolactone (GVL) dari tahun 2010 sampai 2014 disajikan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. 1 Kapasitas produksi γ -valerolactone (GVL)

Tahun	Kapasitas Produksi γ -valerolactone (GVL) global (ton/tahun)
2010	685.350
2011	723.500
2012	748.525
2013	779.561
2014	807.058

Sumber : Soegiarto & Handoyo (2015)



Gambar 2. 1 Grafik kapasitas produksi γ -valerolactone (GVL) global

Berdasarkan data tersebut, dapat dilakukan regresi untuk mendapatkan persamaan linier, yaitu $y = 29.948x - 59.505.974$ dengan nilai $R^2 = 0,9958$. Dari persamaan, dapat diketahui perkiraan produksi di tahun berikutnya dengan x merupakan tahun produksi, dan y merupakan kapasitas produksi di tahun tersebut. Jika direncanakan pabrik akan mulai beroperasi pada tahun 2028, maka didapatkan perkiraan produksi γ -valerolactone (GVL) secara global adalah 1.228.570 ton/tahun.

Adapun ketersediaan bahan baku produksi γ -valerolactone (GVL) berupa ampas tebu diperoleh dari limbah pabrik gula Glenmore yang menghasilkan sekitar 310.000 ton ampas tebu pada tahun 2022. Berdasarkan data dari Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI), dari 63 pabrik gula Indonesia rata-rata ampas tebu yang dihasilkan tiap pabrik gula dimanfaatkan sebagai bahan bakar mesin boiler sekitar 50% dari total ampas tebu sedangkan sisanya tidak dimanfaatkan. Oleh karena itu pada perancangan ini, kami memanfaatkan sisa dari limbah ampas tebu yang dihasilkan oleh pabrik gula Glenmore. Pada perancangan ini, direncanakan pabrik γ -valerolactone (GVL) akan didirikan pada tahun 2028 mempunyai kapasitas 15.244 ton/tahun, sehingga akan memenuhi 1,24% kebutuhan γ -valerolactone (GVL) dunia.

2.2. Pemilihan Proses

Pemilihan proses dilakukan untuk mendapatkan proses yang efisien sesuai dengan pertimbangan aspek-aspek yang ada. Terdapat beberapa bahan yang dapat dimanfaatkan sebagai γ -valerolactone (GVL). γ -Valerolactone (GVL) adalah salah satu produk utama yang dihasilkan dengan meminimalkan biaya operasional melalui produksi asam levulinat yang memiliki konversi mendekati 100% dengan pemilihan katalis yang tepat sesuai kondisi reaksi dan *yield* yang optimal. Seleksi proses dilakukan berdasarkan beberapa tahapan, yaitu tahap pretreatment, LA production, dan GVL production.

2.2.1. *Pretreatment*

Pretreatment dilakukan untuk merubah sifat fisik, biologis, dan kimiawi pada biomassa, oleh karena itu, sangat penting untuk mempertimbangkan jenis *pretreatment*. Komposisi biomassa sangat bervariasi tergantung pada sumber biomassa (Anukam dan Berghel, 2020). Proses *pretreatment* dapat dikatakan efektif, efisien, dan ekonomis apabila memenuhi beberapa persyaratan berikut:

- 1) Penggunaan bahan kimia yang murah
- 2) Konsumsi bahan kimia yang sedikit
- 3) Pencegahan hemiselulosa dan selulosa dari denaturasi
- 4) Kebutuhan dan konsumsi energi yang minimal
- 5) Proses pengecilan ukuran dengan biaya yang rendah
- 6) Produksi serat selulosa yang reaktif

Beberapa jenis perlakuan yang digunakan pada laporan ini adalah *milling*, *steam exploitation*, dan *alkaline pretreatment* sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh Rocha dkk. (2012). *Milling* dipilih karena efektifitasnya untuk memperkecil ukuran partikel biomassa sehingga memudahkan biomassa untuk diproses lebih lanjut, selain itu, proses ini menggunakan pengoperasian yang sederhana. Adapun *steam exploitation* dipilih karena metode ini paling umum digunakan dan efektif, yang biasanya merupakan kombinasi dari perlakuan mekanik dan efek kimia. Suhu dan tekanan yang tinggi pada *steam exploitation* meningkatkan pemecahan ikatan glikosidik pada selulosa dan hemiselulosa serta pembelahan ikatan hemiselulosa-lignin (Baruah dkk., 2018). Sedangkan *alkaline pretreatment* dilakukan untuk menghilangkan kandungan lignin yang masih ada setelah *steam exploitation*. *Alkaline pretreatment* adalah metode pretreatment kimiawi yang didasarkan pada pelarutan lignin dalam larutan alkali. Selain itu, *alkaline pretreatment* mengubah struktur lignoselulosa melalui pembengkakan (*swelling*) sehingga dapat mengurangi kristalinitas dan derajat polimerisasi serta dapat meningkatkan luas permukaan internal (Baruah dkk., 2018).

2.2.2. LA Production

Dibawah ini, beberapa kondisi reaksi serta jenis katalis yang dapat digunakan untuk mengkonversi selulosa menjadi asam levullinat.

Tabel 2. 2 Perbedaan jenis katalis terhadap hasil reaksi selulosa menjadi asam levullinat (Kondisi reaksi: 180 °C)

No.	Katalis	%LA	%Konversi	%Selektivitas LA
1.	HCl	50,81	94,7	53,65
2.	Asam oksalat	1,57	37,22	4,22
3.	Amberlyst-15	29,91	71,29	41,96

(Ma dkk., 2021)

Tabel 2. 3 Perbedaan jenis pelarut terhadap hasil reaksi selulosa menjadi asam levullinat

No.	Pelarut	Suhu operasi (C)	% yield LA	%Konversi	%Selektivitas LA
1	H ₂ O	180	39,91	71,29	41,96
2	GVL/H ₂ O	180	36,90	93,83	39,33
3	GVL/H ₂ O	200	50,40	83,54	60,33
4	THF/H ₂ O	180	47,73	94,25	50,64
5	THF/H ₂ O	200	34,80	87,16	39,93
6	DIO/H ₂ O	180	32,18	81,04	39,71
7	Silfolane/H ₂ O	180	22,58	83,71	26,97
8	DMSO/H ₂ O	180	5,69	42,33	13,44

(Ma dkk., 2021)

Berdasarkan beberapa jenis katalis di atas, pada laporan ini, digunakan katalis asam klorida (HCl). Pemilihan katalis ini menitik beratkan pada komersialisasi serta kondisi operasi yang moderat. Selain itu *yield* yang dihasilkan juga tidak terlampaui jauh dari penelitian lain dalam skala laboratorium. Adapun pelarut yang digunakan adalah H₂O, dikarenakan kemudahan dalam pengolahan dan ketersediaan yang melimpah.

2.2.3. GVL Production

Pemilihan proses produksi GVL sangat bergantung pada jenis katalis hidrogenasi untuk mengubah LA menjadi GVL. Pada beberapa penelitian, dilaporkan bahwa katalis yang mengandung Ru menunjukkan hasil yang paling menjanjikan (Lam dan Uemura, 2015). Pengembangan katalis heterogen untuk reaksi hidrogenasi adalah upaya lanjutan untuk mewujudkan produksi GVL skala komersial. Hal ini terutama didukung dengan mudahnya pemisahan katalis heterogen dari fase cair GVL sehingga mengurangi biaya produksi tetap.

Tabel 2. 4 Produksi GVL dari LA menggunakan katalis heterogen dan H₂

No.	Katalis	Kondisi Operasi			Yield GVL (%wt)	Referensi
		P (bar)	T (°C)	t (h)		
1.	5 wt% Ir/C	55	150	2	47	(Manzer, 2004)
2.	5 wt% Pd/SiO ₂	90	180	6	96,5	(Yan dkk., 2013)
3.	5 wt% Cu/ZrO ₂	35	200	5	100	(Hengne dan Rode, 2012)
4.	5 wt% Ru/C+A70	3	70	3	99,9	(Galletti dkk., 2012)
5.	5 wt% Ru/C	12	130	24	97,5	(Al-Shaal dkk., 2012)
6.	5 wt% Cu/ZrO ₂	35	200	5	90	(Hengne dan Rode, 2012)
7.	PtO ₂	3	24	44	87	(Schuette dan Thomas, 1930)
8.	1 wt% Ru/TiO ₂	40	200	10	97,5	(Luo dkk., 2013)
9.	RuSn(3:6:1)/C	35	180	24	97	(Wettstein dkk., 2012)
10.	4,5 wt% Ir/CNT	20	50	1	99	(Du dkk., 2013)
11.	3 wt% Ru/C	60	130	1,39	100	(Piskun dkk., 2016)

Tabel diatas menunjukkan sistem katalitik heterogen untuk hidrogenasi selektif LA menggunakan gas hidrogen (H₂) eksternal. Berdasarkan tabel diatas, dipilih katalis jenis Ru/C, dikarenakan kondisi operasi yang tidak terlalu ekstrem dengan jumlah *yield* yang tinggi. Selain itu, Ru/C merupakan katalis padat yang sudah dikomersialkan sehingga mudah dalam mendapatkannya dalam jumlah besar.

2.3. Uraian Proses

Perancangan proses yang disajikan pada proposal ini didasari pada penelitian Bangalore Ashok et al., (2022) yang dimodifikasi dengan sumber biomassa berasal dari ampas tebu. γ -Valerolactone (GVL) adalah produk utama yang dihasilkan dengan meminimalkan biaya operasional melalui produksi asam levulinat.

2.3.1. Pretreatment (*Steam explosion dan delignifikasi*)

Pretreatment yang dilakukan menggunakan *steam explosion* untuk mengurangi kadar hemiselulosa dan dilanjutkan delignifikasi untuk menghilangkan kadar lignin. *Pretreatment* ini mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Rocha, Martín, et al. (2012). Ampas tebu yang berasal dari pabrik gula dikeringkan pada suhu ruang lalu disimpan pada *storage* (F-111). Ampas tebu kemudian dipindahkan menggunakan *belt conveyor* (J-112) menuju *hammer mills* (C-113) untuk dilakukan proses penggilingan hingga ukuran partikel menjadi 0,25 s/d 1,19 mm. Setelah proses penggilingan, ampas tebu diangkut menggunakan *bucket elevator* (J-114) dan dimasukkan ke dalam tangki *steam explosion* (D-110).

Pada tangki *steam explosion*, *steam* diinjeksikan sampai tekanan menjadi 1,3 MPa 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 *cyclone* (H-115) untuk memisahkan *slurry* dengan uap. *Slurry* akan keluar menuju *centrifuge* (H-116) untuk dicuci dan dipisahkan antara senyawa selulosa dan hemiselulosa hingga dihasilkan fraksi padat yang terdiri dari selulosa dan lignin, adapun fraksi cairnya adalah hemiselulosa yang terlarut dalam air. Hemiselulosa akan mengalir keluar menuju unit lainnya yang bisa dimanfaatkan lebih lanjut. Pencucian *pulp* dilakukan sampai *pulp* berwarna kuning dari limbah benar-benar hilang.

Senyawa selulosa dan lignin yang dihasilkan selanjutnya di pindahkan menggunakan *screw conveyor* (J-118) menuju tangki delignifikasi (D-120). Proses delignifikasi dilakukan untuk menghilangkan kadar lignin dengan menggunakan reaktor berpengaduk yang diberi larutan NaOH 1% dan dipanaskan hingga 100 °C. Ketika waktu operasi sudah selesai maka campuran tersebut difiltrasi untuk

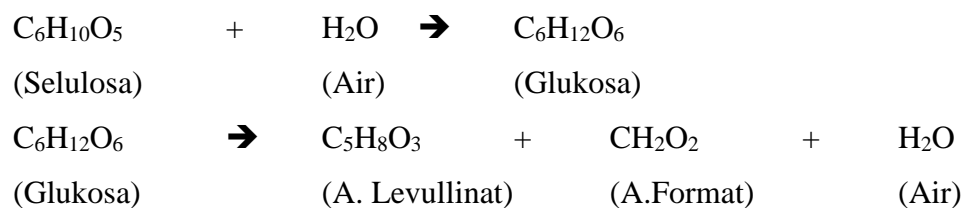
memisahkan fase padat dengan menggunakan *rotary vacuum filter* (H-126) lalu dialirkan keluar menggunakan *screw conveyor* (H-126) menuju *centrifuge* (H-128), *pulp* selulosa akan dicuci dan dipisahkan dari kandungan lignin. Kemudian *pulp* selulosa akan dipindahkan menggunakan *screw conveyor* (J-213) menuju unit LA *production*. Dari langkah *pretreatment* ini, kandungan *pulp* selulosa adalah :

- Selulosa = 83,01%
- Hemiselulosa = 27,46%
- Lignin = 8,85%
- Ash = 30,38%

(Rocha dkk., 2012)

2.3.2. Produksi Asam Levulinat (LA)

Reaksi yang terjadi pada proses ini merupakan reaksi seri dimana selulosa akan dikonversi menjadi asam levulinat melalui beberapa tahap. Tahap reaksi yang terjadi ditunjukkan pada persamaan reaksi berikut:



(Prasad dkk., 2022a)

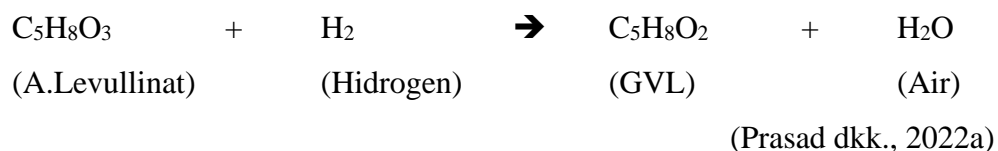
Dari persamaan stoikiometri tersebut, juga terbentuk senyawa humin yang berbentuk padatan. Adapun penjelasan terkait proses yang terjadi pada setiap unit proses adalah sebagai berikut:

- Hasil padatan yang kaya akan selulosa dari stasiun *pretreatment* dimasukkan ke dalam reaktor asam levulinat (LA) (R-210) untuk dilakukan hidrolisis dengan perlakuan hidrotermal menggunakan asam klorida (HCl) sebagai katalis.

- Pada tahap ini selulosa diubah menjadi campuran asam levulinat dan asam format (FA) dengan pembentukan humin (HUM) karena adanya kondensasi gula yang tidak bereaksi (Sen dkk., 2012; Bond dkk., 2014).
- Reaktor asam levulinat (LA) (R-210) merupakan reaktor CSTR yang memiliki suhu operasi 180°C dengan penambahan *deionized water* sebagai pelarut.
- Pada reaktor ini, produk yang memiliki titik didih di bawah suhu operasi akan dihasilkan pada bagian atas dalam bentuk uap, asam levulinat diperoleh pada bagian bawah dikarenakan titik didih asam levulinat di atas suhu operasi pada tekanan normal (252 C).

2.3.3. Produksi γ -valerolactone (GVL)

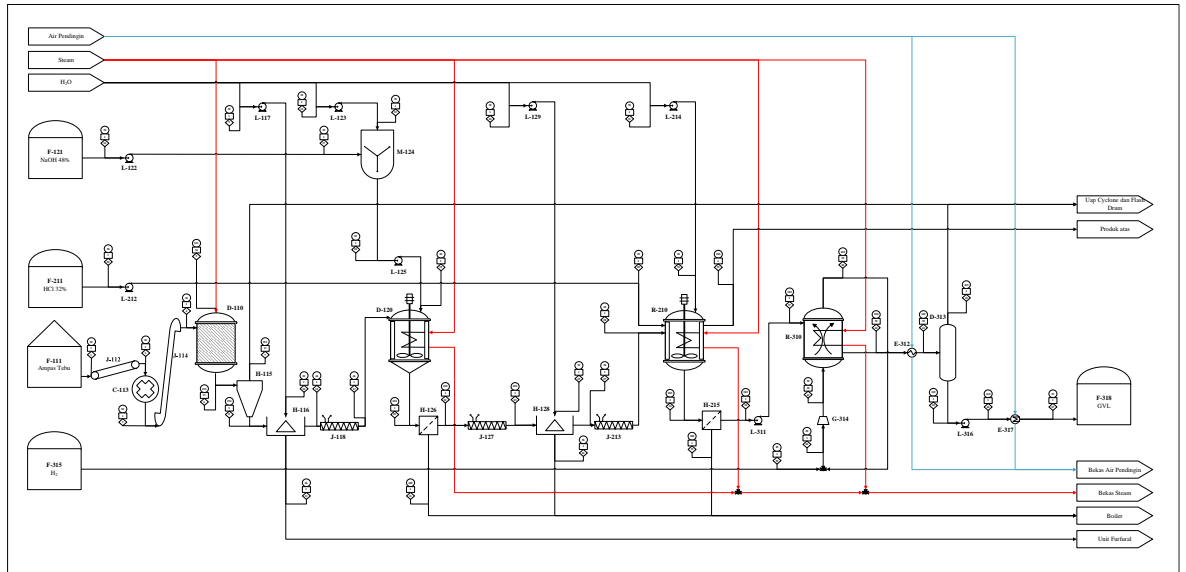
Produksi GVL pada perancangan ini berasal dari asam levulinat yang dihasilkan dari unit produksi asam levulinat. Adapun persamaan reaksinya adalah sebagai berikut:



Dari persamaan tersebut, H₂ yang dimasukkan merupakan H₂ berlebih yang akan di-*recycle* untuk diumpankan kembali ke dalam reaktor. Adapun penjelasan terkait proses yang terjadi pada setiap unit proses adalah sebagai berikut:

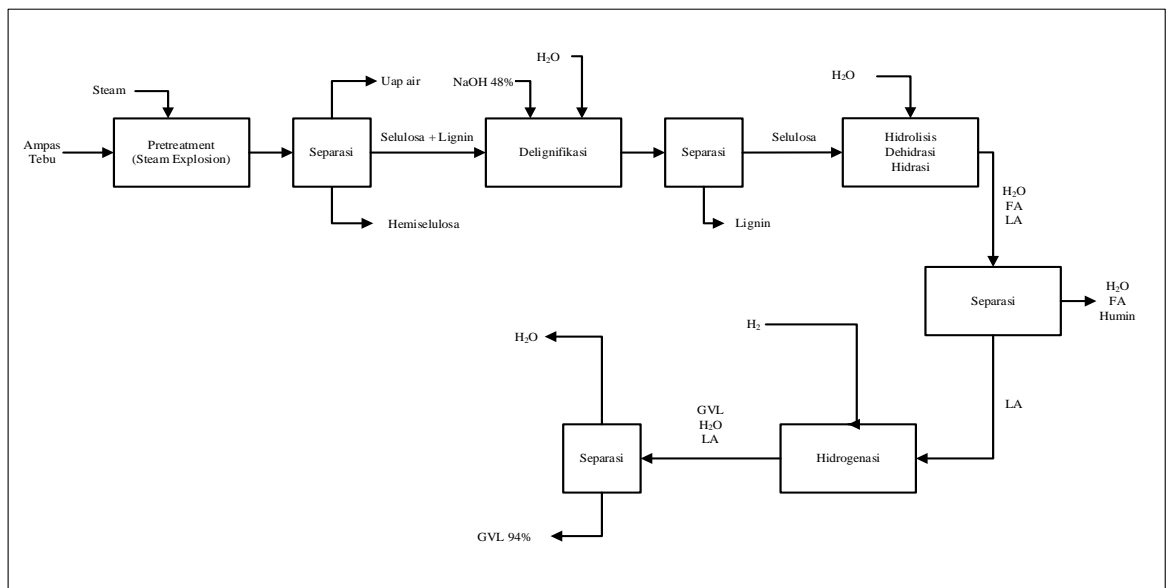
- Aliran kaya LA dimasukkan ke dalam reaktor hidrogenasi LA (R-310) yang beroperasi pada suhu 180 °C dan H₂ diumpankan pada tekanan 3 MPa, di mana asam levulinat dihidrogenasi menjadi GVL menggunakan katalis heterogen Ru/C (Piskun dkk., 2016).
- Aliran hidrogen berlebih dari unit produksi LA, selanjutnya dialirkan menuju kompresor (G-314) untuk diumpankan kembali ke dalam reaktor.

- Produk bawah berupa senyawa campuran dengan fraksi GVL terbanyak selanjutnya didinginkan menggunakan *heat exchanger* (E-312) dan dipisahkan dari fraksi pengotornya menggunakan *flash drum* (D-313).
- Setelah dipisahkan, aliran yang kaya akan GVL didinginkan dan disimpan dalam tangki penyimpanan (F-318).



Gambar 2. 2 *Process Flow Diagram (PFD)* produksi γ -valerolactone (GVL)

Sumber : Penulis



Gambar 2. 3 *Block Flow Diagram (BFD)* produksi γ -valerolactone (GVL)

Sumber : Penulis

2.4. Spesifikasi Bahan

Bahan baku dan bahan pendukung yang digunakan dalam proses produksi γ -valerolactone (GVL) dari ampas tebu adalah sebagai berikut:

2.4.1. Ampas Tebu

Tabel 2. 5 Spesifikasi Bahan Ampas Tebu

Komponen	Wujud	Rumus kimia	Berat Molekul (g/mol)	Specific heat (kJ/kg.K)	Densitas (g/cm ³)	Sifat
Selulosa	Padatan, berserat	(C ₆ H ₁₀ O ₅) _n	162,144	1,284	1,45	Stabil
Hemiselulosa	Padatan	(C ₅ H ₁₀ O ₅) _n	132,117	1,277	1,4	Mudah dihidrolisis
Lignin	Padat	(C ₁₀ H ₁₂ O ₃) _n	180,2	1,334	1,5	Amorf

2.4.2. Bahan Lain

Tabel 2. 6 Spesifikasi Bahan Lain

Nama bahan	No. CAS	Wujud	Rumus kimia	Berat molekul	Titik didih	Sifat
Air	7732-18-5	Cairan, Tidak berwarna	H ₂ O	18	100 °C	Mudah mengoksidasi dan menghidrolisis
Hidrogen	1333-74-0	Gas, Tidak berwarna	H ₂	2.02	-253°C	Sangat mudah terbakar
Natrium Hidroksida	1310-73-2	Padat	NaOH	40.00	1.390 °C	Berwarna putih, Tidak berbau

Asam Klorida	7647-01-0	Cair	HCl	36,46	108,6 C	Berwarna putih, Tidak berbau
<i>Ruthenium on Carbon Catalyst</i>	7440-18-8	Bubuk Padat	Ru/C	101.07	-	Berwarna hitam, Tidak berbau

2.5. Spesifikasi Produk

2.5.1. γ -Valerolactone (GVL)

Tabel 2. 7 Spesifikasi Produk GVL

Sifat Fisikokimia	Nilai
No. CAS	108–29–2
Rumus Kimia	C ₅ H ₈ O ₂
Berat Molekul (g/mol)	100,112
Densitas (g/mL)	1,05
Titik nyala (°C)	96
Titik leleh (°C)	-31
Titik didih (°C)	207–208
Kelarutan dalam air (%)	100
Viskositas kinematik (mm ² /s) (40 °C)	2,1
ΔH_{vap} (kJ/mol)	54,8 ± 0,4
$\Delta_c H^{\circ}_{\text{liquid}}$ (kJ/mol)	-2649.6 ± 0.8
$\Delta_f H^{\circ}_{298}$ (kJ/mol)	-461,3

2.6. Lokasi Pabrik dan Tata letak

2.6.1. Lokasi Pabrik

Pada studi prarancang ini, lokasi pabrik γ -valerolactone (GVL) yang akan dibangun berada di Kecamatan Glenmore, Kabupaten Banyuwangi, Provinsi Jawa Timur dengan total luas lahan sebesar 42 hektar.

2.6.2. Sumber Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan pada pembuatan γ -valerolactone (GVL) adalah ampas tebu. Ampas tebu yang berasal dari biomassa yang digunakan adalah ampas tebu yang berasal dari pengolahan pabrik gula Glenmore, Banyuwangi. Sumber bahan baku ampas tebu dipilih sebagai bahan baku utama karena jumlahnya yang melimpah. Oleh karena itu, Banyuwangi cocok untuk dijadikan lokasi pabrik karena di dukung dengan ketersediaan bahan baku yang memadai.

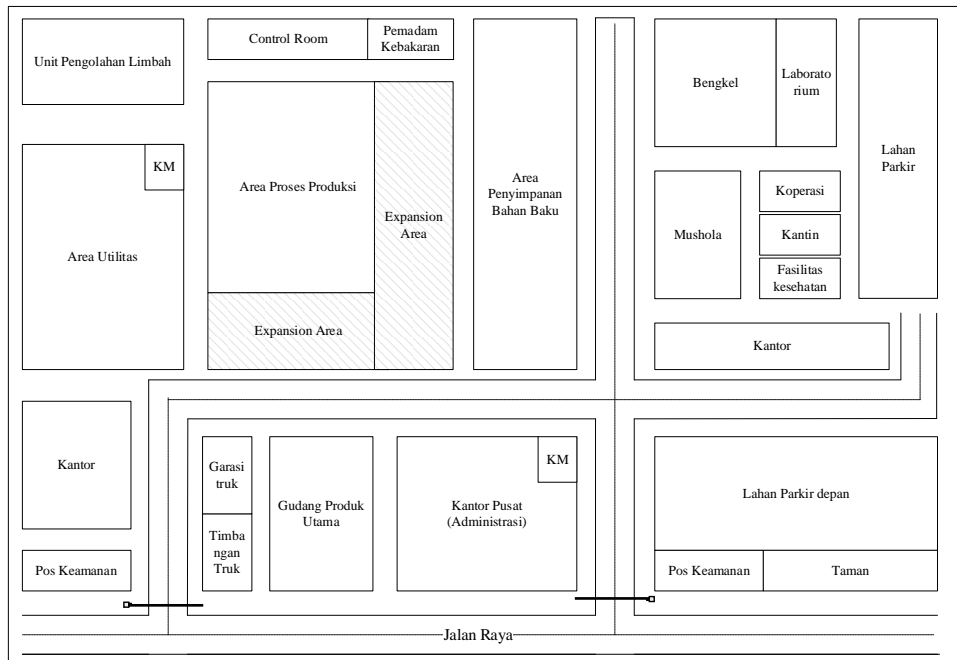
2.6.3. Aspek Gaji, Populasi, dan Tenaga Kerja

Kementerian ketenagakerjaan telah mengatur UMK untuk setiap regional dan Kabupaten Banyuwangi merupakan salah satu kota yang memiliki UMK yang tidak terlalu tinggi yaitu sekitar Rp. 2.528.899. Jumlah tenaga kerja di Banyuwangi mencapai 870.242 jiwa atau ada sekitar 96,33 persen orang dengan usia tenaga kerja berumur 15-64 tahun (Dewi, 2021). Ketersediaan tenaga kerja yang kreatif, terampil, dan inisiatif serta terdidik yang dapat mengoperasikan alat-alat industri perlu dapat mendukung proses produksi.

2.6.4. Akses Lokasi

Aspek pemasaran γ -valerolactone (GVL) membutuhkan fasilitas penunjang untuk mendistribusikan produk. Desa Karangharjo, Sidodadi, Kec. Glenmore, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur berdekatan dengan semua jalur darat, laut, maupun udara dapat sangat membantu dalam proses distribusi pasar.

2.6.5. Tata Letak Pabrik



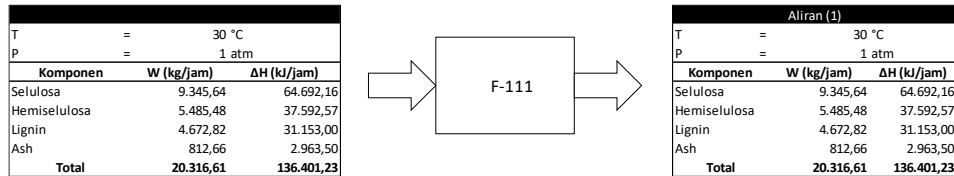
Gambar 2. 4 Tata Letak Pabrik

Sumber : Penulis

BAB 3. NERACA MASSA, NERACA PANAS, DAN SPESIFIKASI ALAT

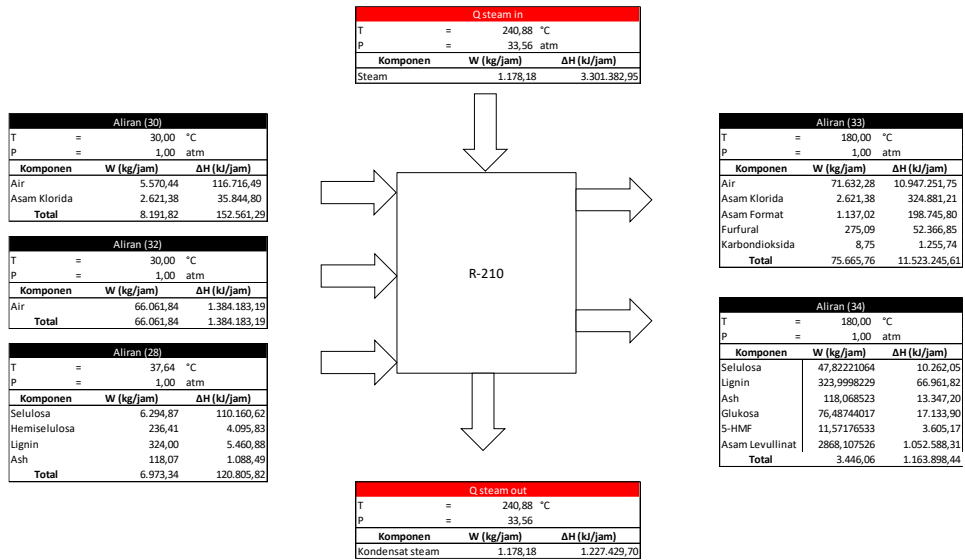
3.1. Neraca Massa dan Neraca Panas

1) Gudang Penyimpanan Ampas Tebu (F-111)



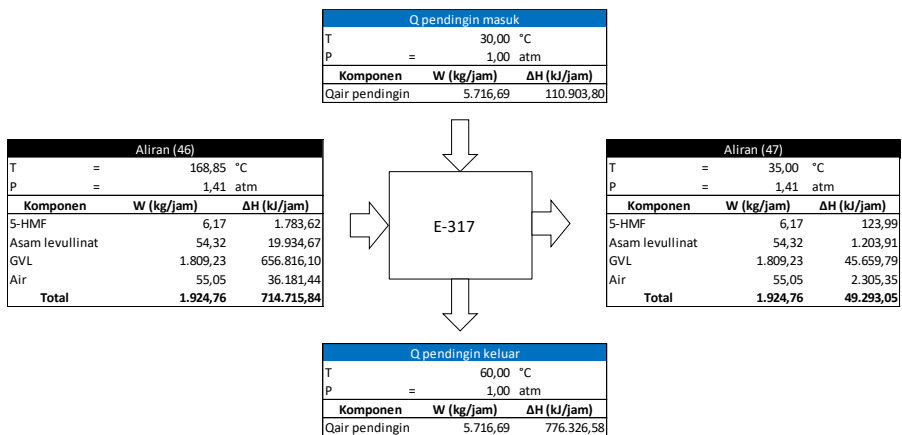
Tabel 3. 1 Neraca massa dan neraca panas gudang penyimpanan ampas tebu

2) Reaktor LA Production (R-210)



Tabel 3. 2 Neraca massa dan neraca panas reaktor LA production

3) Cooler GVL (E-317)



Tabel 3. 3 Neraca massa dan panas cooler GVL

3.2. Spesifikasi Alat

1) Gudang Penyimpanan Ampas Tebu (F-111)

Fungsi	=	Menampung bahan baku ampas tebu
		Gudang persegi empat tegak, lantai rata dan atap
Jenis	=	meruncing
Volume	=	70.214,20 m ³
Lebar (W)	=	26 meter
Panjang (L)	=	52 meter
Tinggi (H)	=	26 meter

2) Reaktor LA *Production* (R-210)

Fungsi	=	Tempat terjadinya reaksi untuk merubah	
		selulosa menjadi asam levullinat	
Jumlah	=	2,00 buah	
Waktu total/siklus	=	20,00 menit	= 0,33 jam
Volume total	=	2.123,96 ft ³	= 60,14 m ³
Tinggi total vessel	=	21,39 ft	= 6,52 m
Diameter dalam	=	143,13 in	= 3,64 m
Diameter luar	=	144,00 in	= 3,66 m
tebal silinder	=	0,44 in	= 0,01 m
Bentuk tutup atas	=	<i>Standard dished</i>	
Tebal tutup atas	=	0,44 in	= 0,01 m
Bentuk tutup bawah	=	<i>Standard dished</i>	
Tebal tutup bawah	=	0,44 in	= 0,01 m
Kecepatan pengadukan	=	36,31 RPM	= 0,61 RPS
Ukuran pipa pemanas	=	0,50 in	= 0,01 m
Diameter koil	=	107,34 in	= 2,73 m
Banyak lilitan koil	=	10,00 lilitan	
Jumlah leg	=	4,00 buah	
Power total	=	10,42 HP	

3) Cooler GVL (E-317)

Fungsi	=	Menurunkan temperatur produk bawah flash drum dari 168,85°C menjadi 35°C
Tipe	=	<i>Double Pipe Heat Exchanger</i>
Dasar pemilihan	=	Umum digunakan pada range perpindahan panas dengan $A < 200 \text{ ft}^2$
Jumlah	=	1 buah
Annulus:		
IPS	=	2,0 in
Sch	=	40,0
ID	=	2,1 in
OD	=	2,4 in
Pipe:		
IPS	=	1,5 in
Sch	=	40,0
ID	=	1,6 in
OD	=	1,9 in
Panjang pipa	=	96,00 ft
jumlah hairpin	=	4,0 buah
Luas area A	=	47,81 ft^2
Panjang hairpin	=	12,00 ft
Rd Requirement	=	0,0005
Rd hitung	=	0,0005
ΔP_a Anulus	=	2,571 psi
ΔP_p Pipa	=	2,038 psi

Catatan : Untuk neraca massa, neraca panas, dan spesifikasi alat lebih lanjut, bisa dilihat di appendix.

BAB 4. UTILITAS

Utilitas adalah unit pendukung proses dalam pabrik. Selain bahan baku dan bahan pembantu, sarana penunjang juga diperlukan agar proses produksi berjalan lancar sesuai yang diinginkan. Utilitas dibutuhkan karena banyak proses kimia memerlukan kondisi operasi khusus yang tidak bisa dicapai secara alami. Jika unit utilitas tidak berfungsi dengan baik, akan berdampak negatif pada kelancaran proses produksi. Berikut beberapa unit utilitas yang digunakan pada pabrik ini.

4.1. Unit Pengolahan dan Pengadaan Air

Unit pengolahan dan pengadaan air pada pabrik bertugas menyediakan air yang sudah melalui proses pengolahan. Air ini digunakan untuk kebutuhan produksi dan domestik seperti umpan boiler, air proses, dan air sanitasi. Pabrik ini memanfaatkan air sungai Pagundangan di Kecamatan Glenmore, Kabupaten Banyuwangi sebagai sumber air utilitasnya. Keputusan ini didasarkan pada lokasi yang dekat (3 km), kondisi lingkungan yang memadai, dan kemungkinan kekeringan yang sangat kecil, sehingga biaya pengolahan air sungai lebih ekonomis daripada air laut maupun air tanah. Total kebutuhan air yang diperlukan pada pabrik γ -valerolactone (GVL) dari ampas tebu dapat dilihat pada tabel dibawah

Tabel 4. 1 Kebutuhan air

No.	Jenis Kebutuhan	Laju alir (kg/jam)
1	Air Umpan Boiler	82.129,094
2	Air Proses	281.456,942
3	Air Sanitasi/Air Bersih	780,000
Total		364.366,036

4.2. Unit Pengadaan Steam (Uap)

Unit pengadaan steam berfungsi menghasilkan *steam* yang dibutuhkan dalam proses produksi. Proses ini melibatkan pengaliran air dari tangki BFW menuju *economizer* untuk dipanaskan sebelum digunakan pada boiler (Akbar dkk., 2009).

Panas sisa dari cerobong asap boiler dipindahkan melalui pipa sebagai media konduksi panas (Leman dkk., 2017). Uap air yang dihasilkan oleh *economizer* dialirkan ke *steam header* untuk distribusi ke peralatan yang membutuhkan steam. Kebutuhan total *steam* pada pabrik dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 4. 2 Peralatan yang membutuhkan pemanas *steam*

No.	Jenis Alat dan Kebutuhan	Kebutuhan panas (kJ/jam)	Laju Alir Steam (kg/jam)
1.	Tangki <i>Steam Explosion</i> (D-110)	18.931.403,09	45.928,70
2.	Tangki Delignifikasi (D-120)	37.554.286,78	21.334,03
3.	Reaktor <i>LA Production</i> (R-210)	2.073.953,25	1.178,18
Total steam yang dibutuhkan / <i>Boiler Feed Water</i> (BFW)			68.440,91
<i>Make Up Water Boiler</i> (20%)			13.688,18
Total BFW Setiap Alat + <i>Make Up Water Boiler</i>			82.129,09

4.3. Unit Pengadaan Listrik

Pada pabrik γ -*valerolactone* (GVL), listrik digunakan untuk mengoperasikan peralatan produksi, instrumentasi, utilitas, kantor, fasilitas lainnya, dan penerangan. Sumber listrik berasal dari PLN dan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) sebagai cadangan saat pemadaman dari PLN agar operasi pabrik tetap berjalan (Aribowo dkk., 2020). PLTD menggunakan generator diesel yang mengubah energi kinetik menjadi energi listrik melalui proses induksi elektromagnetik dengan menggunakan AC generator karena lebih efisien dan aman dibandingkan DC (Kurniawan, 2018).

4.4. Unit Pengadaan Bahan Bakar

Bahan bakar pada pabrik ini berdasarkan terdiri dari 2 (dua) jenis, yaitu *anthracite coal* dan *diesel fuel*. Hasil perhitungan menunjukkan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan tiap jamnya. Detail bahan bakar beserta fungsinya ditampilkan pada tabel di bawah ini:

Tabel 4. 3 Jenis dan parameter bahan bakar

Parameter	Jenis Bahan Bakar	
	<i>Anthracite Coal</i>	<i>Diesel Fuel</i>
Kapasitas panas (H _v)	9,0 kWh/kg	12,67 kWh./kg
	14.024,76 Btu/lb	19.609,63 Btu/lb
Densitas	0,846 kg/L	-
<i>Specific gravity</i> (sg)	1,47	0,89
Keperluan	Memanaskan boiler untuk unit pengadaan <i>steam</i>	Memutar genset diesel sebagai kebutuhan listrik sekunder
Massa yang dibutuhkan	5.544,70 kg/jam	405,02 kg/jam

4.5. Unit Pengolahan Limbah

Limbah merupakan sisa proses produksi atau bahan tanpa nilai yang harus diolah sebelum dibuang agar tidak merusak lingkungan dan mengganggu manusia. Limbah pabrik γ -valerolactone (GVL) dari ampas tebu meliputi air, cairan asam klorida, natrium hidroksida, lignin, ash, dan komponen pengotor lainnya. Limbah padat berbentuk *slurry* dari *rotary drum vacuum filter 2* (H-215) mengandung biomassa dan produk samping seperti selulosa, lignin, ash, glukosa, 5-HMF, asam levullinat, dan humin yang jika dibuang tanpa pengolahan dapat menyebabkan kerusakan ekologi dan pencemaran air. Limbah cair dari unit *rotary drum vacuum filter 1* (H-126) dan kondensor produk atas LA mengandung larutan natrium hidroksida dan asam klorida yang berbahaya, namun dapat diolah dengan penggabungan kedua larutan untuk membentuk senyawa NaCl. Limbah dari utilitas juga dapat diolah kembali melalui proses *recycle* pada unit utilitas.

4.6. Unit pengolahan hemiselulosa, dan GVL produk atas flash drum

Hemiselulosa dapat diubah menjadi furfural melalui proses hidrolisis (Prasad dkk., 2022b). Furfural yang dihasilkan akan digunakan dalam industri bahan kimia sebagai senyawa intermediet dan sebagai pelarut untuk pemisahan senyawa jenuh dan tidak jenuh dalam industri minyak bumi. Produk atas flash drum, yaitu GVL dengan kemurnian 61%, akan dimurnikan kembali melalui proses distilasi sebelum dijual.

4.7. Unit Pengolahan Karbon Dioksida (CO₂)

Pabrik ini menghasilkan karbon dioksida dari reaksi asam levullinat pada Reaktor *LA Production* (R-210). Pengolahan gas karbon dioksida dilakukan dengan menampungnya dalam tangki penyimpanan dan didistribusikan kepada industri lain yang membutuhkannya. Manfaat dari gas karbon dioksida antara lain sebagai bahan baku untuk pembuatan karbonat, bikarbonat, urea, dan natrium salisilat, serta digunakan sebagai zat pemadam kebakaran. Selain itu, gas karbon dioksida juga diinjeksikan pada industri minuman bersoda.

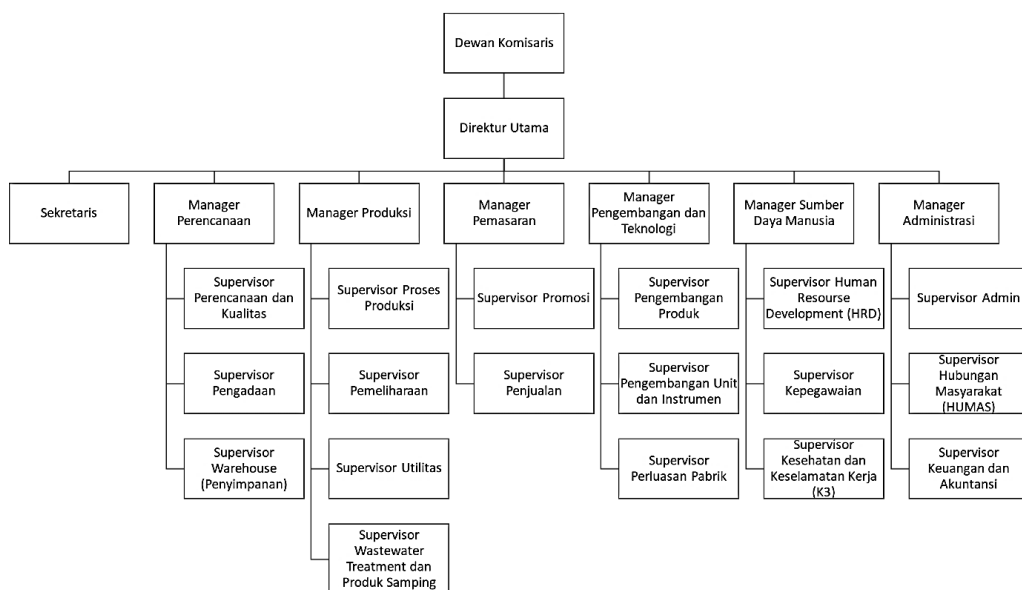
BAB 5. MANAJEMEN PABRIK

5.1. Bentuk Perusahaan

Pabrik *Gamma Valerolactone* (GVL) yang akan didirikan pada tahun 2028 ini berbentuk Perseroan Terbatas (PT). Secara umum didirikannya perusahaan dalam bentuk PT untuk menjalankan perusahaan berbasis pengadaan modal dari berbagai pihak dan saham. Perseroan terbatas telah diatur dalam UU No. 40 tahun 2007 pasal 1 yang disebutkan bahwa PT adalah badan hukum yang merupakan persekutuan modal, perusahaan didirikan berdasarkan perjanjian, dan kegiatan usaha yang dilakukan dengan modal dasar yang seluruhnya terbagi dalam saham.

5.2. Struktur Perusahaan

Struktur organisasi yang akan diterapkan di Pabrik GVL dari ampas tebu berupa struktur organisasi fungsional, dimana setiap kepala bagian memiliki tugas dan wewenang untuk mengatur bagiannya dalam mengatur tugas. Secara umum struktur organisasi bertujuan untuk memudahkan dalam pembagian dan pengkoordinasian tugas pekerjaan perusahaan secara formal sehingga lebih sistematis. Gambar di bawah menunjukkan struktur organisasi pabrik GVL.



Gambar 5. 1 Struktur organisasi pabrik

5.3. Sistem Kepegawaian dan Sistem Gaji

Sistem remunerasi pada pabrik GVL yang menggunakan ampas tebu sebagai bahan baku, berbeda untuk masing-masing karyawan tergantung pada status kepegawaian dan tanggung jawab yang diemban. Pengelompokan karyawan pabrik ini terbagi menjadi tiga kategori, sebagaimana tertera pada tabel berikut, didasarkan pada jenis pekerjaan dan pola pembayaran yang diterapkan.

Tabel 5. 1 Kategori karyawan

Kategori Karyawan	Sistem Kerja	Pembayaran Gaji
Karyawan Tetap	Diberkerjakan dan diberhentikan direksi melalui surat keputusan (SK) direksi	Dibayar setiap akhir bulan
Karyawan Harian	Diberkerjakan dan diberhentikan direksi tanpa SK direksi	Dibayar setiap akhir pekan
Karyawan Borongan	Diberkerjakan bila diperlukan yang sifatnya fleksibel	Dibayar setiap satu pekerjaan tanpa memperhatikan waktu

5.4. Pembagian Waktu Kerja

5.4.1. Tenaga Kerja Langsung (Karyawan Shift)

Tabel 5. 2 Pembagian shift

Shift	Jam (WIB)
1 (Pagi)	07:00 – 15:00
2 (Siang)	15:00 – 23:00
3 (Malam)	23:00 – 07:00

Tabel 5. 3 Pembagian hari kerja karyawan shift

<i>Shift</i>	Hari Ke-							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1 (Pagi)	A	D	C	B	A	D	C	B
2 (Siang)	B	A	D	C	B	A	D	C
3 (Malam)	C	B	A	D	C	B	A	D
Libur	D	C	B	A	D	C	B	A

5.4.2. Tenaga Kerja Tidak Langsung (Karyawan Non-Shift)

Tabel 5. 4 Jam kerja karyawan non-shift

Hari	Jam Kerja (WIB)	Jam Istirahat (WIB)
Senin – Kamis	07:00 – 16:00	12:00 – 13:00
Jum'at	07:00 – 17:00	11:00 – 13:00
Sabtu, Minggu, dan Hari Libur Nasional	-	-

5.5. Jumlah dan Gaji Karyawan**Tabel 5. 5** Jumlah dan gaji pegawai

No.	Jabatan	Jumlah	Gaji/orang (Rp)	Gaji total (Rp)
Karyawan non-shift				
1	Dewan Komisaris	2	75.000.000	150.000.000
2	Direktur Utama	1	65.000.000	65.000.000
3	Sekretaris	4	7.500.000	30.000.000
4	Manajer Perencanaan	1	31.500.000	31.500.000
5	Manajer Produksi	1	31.500.000	31.500.000
6	Manajer Pemasaran	1	31.500.000	31.500.000
7	Manajer Pengembangan dan Teknologi	1	31.500.000	31.500.000
8	Manajer SDM	1	31.500.000	31.500.000

9	Manajer Administrasi	1	31.500.000	31.500.000
10	Supervisor Perencanaan dan Kualitas	1	10.000.000	10.000.000
11	Supervisor Pengadaan	1	10.000.000	10.000.000
12	Supervisor Warehouse (Pergudangan)	1	10.000.000	10.000.000
13	Supervisor Proses Produksi Bioetanol	1	10.000.000	10.000.000
14	Supervisor Pemeliharaan	1	8.100.000	8.100.000
15	Supervisor Utilitas	1	8.100.000	8.100.000
16	Supervisor Wastewater Treatment dan Produk Samping	1	8.100.000	8.100.000
17	Supervisor Promosi	1	8.100.000	8.100.000
18	Supervisor Penjualan	1	8.100.000	8.100.000
19	Supervisor Pengembangan Produk	1	8.100.000	8.100.000
20	Supervisor Pengembangan Unit dan Instrumen	1	8.100.000	8.100.000
21	Supervisor Perluasan Pabrik	1	8.100.000	8.100.000
22	Supervisor HRD	1	8.100.000	8.100.000
23	Supervisor Kepegawaian	1	8.100.000	8.100.000
24	Supervisor K3	1	8.100.000	8.100.000
25	Supervisor Admin	1	8.100.000	8.100.000
26	Supervisor HUMAS	1	8.100.000	8.100.000
27	Supervisor Keuangan dan Akuntansi	1	8.100.000	8.100.000
28	Karyawan Perencanaan dan Kualitas	4	4.300.000	17.200.000
29	Karyawan Pengadaan	3	4.300.000	12.900.000
30	Karyawan Warehouse (Pergudangan)	2	4.300.000	8.600.000
31	Karyawan Promosi	2	4.300.000	8.600.000
32	Karyawan Penjualan	3	4.300.000	12.900.000
33	Karyawan Pengembangan Produk	2	4.300.000	8.600.000
34	Karyawan Pengembangan Unit dan Instrumen	2	4.300.000	8.600.000
35	Karyawan Perluasan Pabrik	2	4.300.000	8.600.000

36	Karyawan HRD	5	4.300.000	21.500.000
37	Karyawan Kepegawaian	2	4.300.000	8.600.000
38	Karyawan K3	3	4.300.000	12.900.000
39	Karyawan Admin	3	4.300.000	12.900.000
40	Karyawan HUMAS	3	4.300.000	12.900.000
41	Karyawan Keuangan dan Akuntansi	5	4.300.000	21.500.000
42	Dokter	1	7.000.000	7.000.000
43	Perawat	4	3.000.000	12.000.000
44	Sopir	5	2.000.000	10.000.000
45	Cleaning Service / Tenaga Kebersihan	6	1.800.000	10.800.000
Karyawan shift				
1	Keamanan	12	3.000.000	36.000.000
2	QC	4	7.000.000	28.000.000
3	Proses Produksi	40	5.117.500	204.700.000
Jumlah		144	579.017.500	1.072.200.000

BAB 6. EVALUASI EKONOMI DAN FAKTOR KESELAMATAN

6.1. Evaluasi Ekonomi

Evaluasi ekonomi pada rancangan pabrik GVL bertujuan untuk menentukan biaya proyek dan biaya produk per satuan massa (kilogram) guna mengetahui keuntungan yang dihasilkan dan kelayakan pendirian pabrik. Pengembalian modal dilakukan saat mencapai titik impas atau *Break Even Point*, di mana uang atau modal yang digunakan bersama tindakan khusus menghasilkan keuntungan atau kerugian (Fauziah dkk., 2021). Dalam merancang pabrik baru, perlu mempertimbangkan dengan cermat faktor-faktor terkait modal dan biaya produksi yang saling terkait dan perlu dievaluasi. Modal merupakan jumlah uang yang diperlukan untuk mendirikan dan mengoperasikan pabrik agar menghasilkan produk dari bahan baku tertentu, sedangkan biaya merujuk pada pengeluaran tahunan untuk menghasilkan produk. Selain itu, penjualan produk mencakup uang yang diperoleh dari hasil penjualan produk pada kapasitas produksi tertentu. Adapun dasar-dasar perhitungan analisis ekonomi pada perancangan pabrik ini adalah sebagai berikut:

Kapasitas produksi	=	15.244,13 ton/tahun atau 1.924,76 kg/jam
Waktu operasi	=	330 Hari
Umur pabrik	=	10 Tahun
Tahun mulai konstruksi	=	2028
Bunga pinjaman	=	12%
Persen modal pinjaman	=	30%

Hasil analisa ekonomi yang dilakukan tertera padatable di bawah ini:

Tabel 6. 1 Kesimpulan analisa ekonomi

No.	Komponen	Definisi	Nilai	Ketentuan	Kesimpulan
1	Total Modal (TCI)	Investasi yang dibutuhkan untuk pendirian suatu pabrik sampai beroperasi	Rp. 2.495.025.912.863,40	-	-
2	Ongkos Produksi (TPC)	Total biaya yang berhubungan dengan proses pembuatan barang dan penyediaan jasa	Rp. 2.328.696.629.584,81	-	-
3	Keuntungan (Laba bersih)	Laba bersih adalah nilai keuntungan atau kelebihan pendapatan dari aktivitas perdagangan dalam suatu periode tertentu	Rp. 390.077.891.208,36	-	-
4	Lama Waktu Pengembalian (POT)	Jumlah tahun yang diperlukan untuk mengembalikan <i>Fixed Capital Investment</i> berdasarkan keuntungan yang diperoleh	4,88 tahun	$POT < \frac{1}{2}$ Umur pabrik	Layak
5	Laju Pengembalian Modal (ROI)	Keuntungan yang didapatkan dari investasi yang merupakan tolok ukur seberapa besar keuntungan yang didapatkan setelah menginvestasikan sejumlah uang	18,39%	ROI > Bunga bank	Layak
6	Break Event Point (BEP)	Posisi dimana perusahaan tidak memperoleh laba dan tidak ada kerugian	41,81%	40% < BEP < 60%	Layak

6.2. Keselamatan

6.2.1. Faktor Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3)

Keselamatan dan kesehatan kerja (K3) adalah upaya untuk menjaga kesehatan, keselamatan, dan kesejahteraan para pekerja di lokasi proyek. K3 penting agar para pekerja merasa aman dan nyaman dalam lingkungan kerja mereka. K3 merupakan aspek perlindungan tenaga kerja yang diatur dalam Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1970 dan Undang-Undang Nomor 13 Tahun 2003. Syarat-syarat keselamatan kerja disebutkan dalam pasal 3 Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1970, Bab III tentang Syarat-Syarat Keselamatan Kerja.

6.2.2. Faktor Bahaya

Terdapat berbagai faktor bahaya dalam lingkungan pabrik, baik berbentuk fisik maupun non-fisik, yang memiliki potensi untuk menyebabkan cedera pada pekerja secara langsung atau tidak langsung. Faktor bahaya yang mungkin terjadi di pabrik GVL meliputi risiko kebakaran dan ledakan, bahaya mekanik, bahaya listrik, bahaya bahan kimia, serta bahaya terhadap kesehatan dan keselamatan pekerja.

6.2.3. Alat Pelindung Diri (APD)

Alat pelindung diri (APD) merupakan suatu hal yang harus disediakan bagi pekerja dan wajib digunakan. APD dapat memberikan perlindungan bagi karyawan terhadap bahaya-bahaya yang mungkin terjadi. Penggunaan APD di lokasi kerja disesuaikan dengan potensi bahaya yang dihadapi. APD yang disediakan perusahaan wajib memenuhi standar negara Indonesia (SNI) (Gultom, 2018).

6.2.4. Identifikasi Hazard Bahan Kimia

Tabel 6. 2 Identifikasi Hazard Bahan Kimia.

No.	Jenis Bahan	Keterangan	Pengelolaan
1	Ampas Tebu	Tidak mudah terbakar, tetapi dapat terbakar jika kontak dengan sumber api	Disimpan dalam gudang penyimpanan bahan Baku
2	Gas Hidrogen (H ₂)	Cairan sangat mudah terbakar, menyebabkan kebakaran atau ledakan jika terjadi kontak panas dengan api	Disimpan pada tangki tertutup yang jauh dari sumber api dan menggunakan masker ketika berada didekat bahan
3	Air (H ₂ O)	Digunakan dalam proses produksi, pendinginan mesin, pencucian, dan sebagai bahan baku dalam beberapa proses kimia	Air disimpan dalam tangki penyimpanan pada suhu dan tekanan atmosfer
4	Katalis Ru/C	Menyebabkan aktivitas katalitik yang tinggi, kestabilan, dan kemampuan untuk di-regenerasi kembali setelah digunakan	Disimpan dalam kondisi yang kering, untuk mencegah oksidasi atau degradasi katalis yang dapat mengurangi aktivitas katalitiknya
5	Asam Klorida	Menyebabkan iritasi kulit dan mata	Mennggunakan APD dalam Pengelolaan yang benar
6	Natrium Hidroksida	Korosif pada logam dan iritasi pada kulit	Disimpan pada tangki anti korosi, menggunakan APD dalam pengelolaan
7	Propilen Glikol	Mudah mengiritasi kulit dan mata, dan toksisitas	Disimpan pada tangki tertutup dan menggunakan APD yang tepat

BAB 7. PENUTUP

7.1. Kesimpulan

Berdasarkan uraian dan pembahasan yang terdapat pada 8 (delapan) bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Lokasi pabrik GVL berada di dibangun berada di Kecamatan Glenmore, Kabupaten Banyuwangi, Provinsi Jawa Timur dengan total luas lahan sebesar 42 hektar;
2. Pabrik GVL ini memiliki kapasitas produksi sebesar 15.244 Ton/tahun;
3. Bahan baku berupa ampas tebu yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan produksi pada pabrik ini adalah 160.907,54 ton/tahun dengan produk GVL 94 %.
4. Pabrik ini direncanakan beroperasi secara kontinyu selama 330 hari/tahun dan 24 jam/hari;
5. Bentuk badan usaha yang direncanakan pada pabrik ini adalah perseroan terbatas (PT) dengan jumlah karyawan sebanyak 144 orang;
6. Evaluasi ekonomi diperoleh:
 - Total Modal = Rp. 2.495.025.912.863,40
 - Ongkos Produksi = Rp. 2.328.696.629.584,81
 - Keuntungan (Laba bersih) = Rp. 390.077.891.208,36
 - Lama Waktu Pengembalian = 4,88 tahun
 - Laju Pengembalian Modal = 18,39%
 - Break Event Point = 42%

Berdasarkan evaluasi ekonomi dapat disimpulkan bahwa Pabrik GVL dari ampas tebu dengan kapasitas 15.244 ton/tahun ini **layak** untuk didirikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhiksana, A., C. N. Wulan, dan N. H. Islamiyah. 2022. Hidrolisis ampas tebu menjadi furfural dengan katalisator asam sulfat berbantuan gelombang mikro. *Jurnal Teknik Kimia Vokasional*. 2(1):15–21.
- Al-Shaal, M. G., W. R. H. Wright, dan R. Palkovits. 2012. Exploring the ruthenium catalysed synthesis of γ -valerolactone in alcohols and utilisation of mild solvent-free reaction conditions. *Green Chemistry*. 14(5):1260–1263.
- Anukam, A. dan J. Berghel. 2020. *Biomass Pretreatment and Characterization: A Review*. Dalam *Biotechnological Applications of Biomass*
- Aribowo, D., Desmira, dan Danan Ahlan Fauzan. 2020. SISTEM perawatan mesin genset di pt (persero) pelabuhan indonesia ii. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan FKIP*. 3:580–594.
- Bangalore Ashok, R. P., P. Oinas, dan S. Forssell. 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.
- Baruah, J., B. K. Nath, R. Sharma, S. Kumar, R. C. Deka, D. C. Baruah, dan E. Kalita. 2018. Recent trends in the pretreatment of lignocellulosic biomass for value-added products. *Frontiers in Energy Research*. 6(DEC):1–19.
- Bond, J. Q., A. A. Upadhye, H. Olcay, J. Jae, R. Xing, M. Alonso, D. Wang, T. Zhang, R. Kumar, A. Foster, S. M. Sen, C. T. Maravelias, R. Malina, S. R. H. Barrett, R. Lobo, C. E. Wyman, J. A. Dumesic, dan G. W. Huber. 2014. Production of renewable jet fuel range alkanes and commodity chemicals from integrated catalytic processing of biomass. *Energy & Environmental Science*. 7:1500–1523.
- Dewi, K. 2021. Analisis demografi dan kewilayahan banyuwangi dengan pendekatan hincó untuk pengembangan wilayah. *Journal of Demography*. 1(1):22–33.
- Du, X., Y. Liu, J. Wang, Y. Cao, dan K. Fan. 2013. Catalytic conversion of

- biomass-derived levulinic acid into γ -valerolactone using iridium nanoparticles supported on carbon nanotubes. *Cuihua Xuebao/Chinese Journal of Catalysis*. 34(5):993–1001.
- Fauziyah, B., M. Yuwono, dan Isnaeni. 2021. Bagasse nanocellulose (*saccharum officinarum* L.): optimalisasi proses dan karakterisasi. 25(2):989–1001.
- Galletti, A. M. R., C. Antonetti, V. De Luise, dan M. Martinelli. 2012. A sustainable process for the production of γ -valerolactone by hydrogenation of biomass-derived levulinic acid. *Green Chemistry*. 14(3):688–694.
- Hengne, A. M. dan C. V. Rode. 2012. Cu–ZrO₂ nanocomposite catalyst for selective hydrogenation of levulinic acid and its ester to γ -valerolactone. *Green Chemistry*. 14(4):1064–1072.
- Hermiati, E., D. Mangunwidjaja, T. Candra Sunarti, O. Suparno, dan B. Prasetya. 2010. Pemanfaatan biomassa lignoselulosa ampas tebu untuk produksi bioetanol. *Jurnal Litbang Pertanian*. 29(4):121–130.
- Kurniawan, R. S. 2018. Analisa penggunaan genset di untang surabaya sebagai energi alternatif untuk manajemen energi
- Lam, M. K. dan Y. Uemura. 2015. The potential of gamma-valerolactone (gvl) production from oil palm biomass. *Journal of Advanced Chemical Engineering*. 5(2):1–2.
- Luo, W., U. Deka, A. M. Beale, E. R. H. Van Eck, P. C. A. Bruijninx, dan B. M. Weckhuysen. 2013. Ruthenium-catalyzed hydrogenation of levulinic acid: influence of the support and solvent on catalyst selectivity and stability. *Journal of Catalysis*. 301:175–186.
- Ma, C., B. Cai, L. Zhang, J. Feng, dan H. Pan. 2021. Acid-catalyzed conversion of cellulose into levulinic acid with biphasic solvent system. *Frontiers in Plant Science*. 12(March)
- Manzer, L. E. 2004. Catalytic synthesis of α -methylene- γ -valerolactone: a biomass-derived acrylic monomer. *Applied Catalysis A: General*. 272(1–2):249–256.
- Mosier, N., C. Wyman, B. Dale, R. Elander, Y. Y. Lee, M. Holtzapple, dan M. Ladisch. 2005. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*. 96(6):673–686.

- Oubraham, A. dan G. Zaccour. 2018. A survey of applications of viability theory to the sustainable exploitation of renewable resources. *Ecological Economics*. 145(November 2017):346–367.
- Pippo, W. A. dan C. A. Luengo. 2013. Sugarcane energy use: accounting of feedstock energy considering current agro-industrial trends and their feasibility. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*. 4(1):1–13.
- Piskun, A. S., H. H. van de Bovenkamp, C. B. Rasrendra, J. G. M. Winkelman, dan H. J. Heeres. 2016. Kinetic modeling of levulinic acid hydrogenation to γ -valerolactone in water using a carbon supported ru catalyst. *Applied Catalysis A: General*. 525:158–167.
- Prasad, R., B. Ashok, P. Oinas, dan S. Forssell. 2022a. 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.
- Prasad, R., B. Ashok, P. Oinas, dan S. Forssell. 2022b. Energi terbarukan evaluasi tekno-ekonomi biorefinery untuk menghasilkan γ hydroxymethylfurfural (5-hmf) dari pohon cemara. 190
- Rocha, G. J. M., C. Martín, F. N. Vinícius, E. O. Gómez, dan A. R. Gonçalves. 2012. Mass balance of pilot-scale pretreatment of sugarcane bagasse by steam explosion followed by alkaline delignification. *Bioresource Technology*. 111:447–452.
- Schuette, H. A. dan R. W. Thomas. 1930. Normal valerolactone. iii. its preparation by the catalytic reduction of levulinic acid with hydrogen in the presence of platinum oxide. *Journal of the American Chemical Society*. 52(7):3010–3012.
- Sen, S. M., C. A. Henao, D. J. Braden, J. A. Dumesic, dan C. T. Maravelias. 2012. Catalytic conversion of lignocellulosic biomass to fuels : process development and techno-economic evaluation. *Chemical Engineering Science*. 67(1):57–67.
- Soegiarto, A. S. dan N. Handoyo. 2015. Prarencana pabrik produksi nonana dari γ -valerolactone (gvl) kapasitas 55.063.871 kg/tahun. *Repositori Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya*

- Sugiatna, A. 2021. Analisis perencanaan kapasitas produksi dengan menggunakan metoda rough cut capacity planning pendekatan cprof di pt. xyz. *Sistemik : Jurnal Ilmiah Nasional Bidang Ilmu Teknik*. 9(02):28–32.
- Wettstein, S. G., J. Q. Bond, D. M. Alonso, H. N. Pham, A. K. Datye, dan J. A. Dumesic. 2012. RuSn bimetallic catalysts for selective hydrogenation of levulinic acid to γ -valerolactone. *Applied Catalysis B: Environmental*. 117–118:321–329.
- Yan, K., T. Lafleur, G. Wu, J. Liao, C. Ceng, dan X. Xie. 2013. Highly selective production of value-added γ -valerolactone from biomass-derived levulinic acid using the robust pd nanoparticles. *Applied Catalysis A: General*. 468:52–58.
- Yan, K., Y. Yang, J. Chai, dan Y. Lu. 2015. Catalytic reactions of gamma-valerolactone: a platform to fuels and value-added chemicals. *Applied Catalysis B: Environmental*. 179:292–304.
- Ye, L., Y. Han, J. Feng, dan X. Lu. 2020. A review about gvl production from lignocellulose: focusing on the full components utilization. *Industrial Crops and Products*. 144(December 2019):112031.
- Zhou, Y., L. Wang, P. Guo, dan G. Yao. 2020. Recent advances in the production of γ -valerolactone with liquid hydrogen source. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 571(1)

LAMPIRAN

Untuk perhitungan lebih detail, dapat dilihat pada link berikut:

<https://unej.id/TANashirRiaRico2023>

