

## PRARANCANGAN PABRIK $\gamma$ -VALEROLACTONE (GVL) DARI AMPAS TEBU DENGAN KAPASITAS 15.244 TON/TAHUN

Moh. Nashir Idham Kholid, Riatus Sholehah, Rico Dwi Irawan

<sup>1</sup>Program Studi S-1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat

Jl. Jenderal Achmad Yani KM 35,5 Banjarbaru, Kalimantan Selatan, 70714

\*Corresponding Author: mfadillahssosn@gmail.com

### Abstrak

*Eksplorasi besar-besaran sumber daya fosil membawa manfaat bagi perkembangan masyarakat, namun juga menyebabkan pencemaran lingkungan dan krisis energi. Untuk mengatasi hal tersebut, perlu adanya pengembangan sumber daya terbarukan seperti energi biomassa. Ampas tebu, sebagai limbah biomassa, dapat diolah menjadi bahan bakar dan bahan kimia bernilai tinggi, dengan potensi penggunaan lignoselulosa melalui konversi fisika dan kimia.*

*Dalam rancangan pabrik ini, selulosa yang berasal dari pabrik gula Glenmore, Banyuwangi diolah untuk dikonversi menjadi asam levullinat (LA) melalui reaksi hidrolisis, dehidrasi dan hidrasi pada suhu 180 °C menggunakan katalis asamklorida (HCl) dalam reaktor RATB. Selanjutnya, asam levullinat (LA) di konversi kembali menjadi  $\gamma$ -valerolactone (GVL) melalui reaksi hidrogenasi pada suhu 180 °C dan tekanan 1,3 MPa menggunakan katalis padat Ru/C dalam reaktor FBR. Untuk meningkatkan kadar selulosa, biomassa ampas tebu yang akan digunakan sebagai bahan baku akan melalui pretreatment steam explosion dan delignifikasi. Perancangan ini membutuhkan bahan baku ampas tebu sebanyak 20.316,61 kg/jam, dan menghasilkan produk  $\gamma$ -valerolactone (GVL) 94% sebanyak 1.924,76 kg/jam. Berdasarkan analisa ekonomi yang dilakukan, didapatkan Pay Out Time (POT) 4,88 tahun, Rate On Investment (ROI) 18,39%, dan Break Even Point (BEP) 41,81%.*

*Kata kunci: Ampas Tebu, Asam Levullinat, FBR, RATB,  $\gamma$ -valerolactone.*

### 1. Pendahuluan

Eksplorasi besar-besaran sumber daya fosil mendorong perkembangan masyarakat, tetapi menyebabkan pencemaran lingkungan dan krisis energi. Untuk mengatasi krisis energi dan pencemaran lingkungan, dibutuhkan pengembangan sumber daya terbarukan seperti energi biomassa. Pemanfaatan energi dari biomassa sangat menjanjikan karena sumbernya tersebar luas, melimpah, dan harganya lebih terjangkau, serta dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Ampas tebu, sebagai limbah biomassa, dapat dimanfaatkan untuk produksi bahan bakar dan bahan kimia bernilai tinggi (Ye dkk., 2020). Ampas tebu yang merupakan bahan lignoselulosa berpotensi untuk menghasilkan produk bernilai tinggi melalui konversi fisika dan kimia (Hermiati dkk., 2010).

Menurut data dari Direktorat Jenderal Perkebunan (2019) jumlah produksi tebu di Indonesia mencapai 2,227 juta ton. Sekitar 35-40% dari tebu gilingan menjadi limbah ampas tebu, mencapai jumlah perkiraan 779.466 hingga 890.818 ton pada tahun 2020 (Adhiksana dkk., 2022). Saat ini, limbah ampas tebu sering dibakar untuk menghasilkan uap dan listrik di pabrik gula. Namun, penanganan limbah ampas tebu perlu diperhatikan karena berpotensi menimbulkan bahaya dan risiko lingkungan (Putro dkk., 2015).

Pengelolaan limbah ampas tebu secara bijaksana dan pemanfaatan potensial bahan lignoselulosa dapat berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan. Bahan lignoselulosa dari ampas tebu memiliki ketersediaan melimpah sebagai limbah pertanian, perkebunan, dan kehutanan (Hermiati dkk., 2010). Ampas tebu juga memiliki komposisi kimia seperti yang tertera pada **Tabel 1**. Dengan mengoptimalkan pemanfaatan biomassa,

**Tabel 1.** Komposisi ampas tebu

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

Sumber: Pippo & Luengo (2013)

$\gamma$ -Valerolactone (GVL) adalah turunan biomassa yang dapat digunakan sebagai sumber karbon terbarukan untuk produksi bahan bakar cair dan senyawa kimia lainnya, serta memiliki berbagai aplikasi yang bermanfaat (Galletti dkk., 2012). Sebagai bahan bakar potensial, GVL memiliki stabilitas yang baik, toksisitas rendah, dan dapat



diolah menjadi berbagai senyawa kimia dan bahan bakar aditif (Alonso dkk., 2013a). GVL juga berperan sebagai pelarut yang efektif dalam konversi biomassa dan meningkatkan proses sakarifikasi dengan melarutkan biomassa sepenuhnya, termasuk fraksi lignin (Alonso dkk., 2013b). Dibandingkan dengan etanol, GVL memiliki titik didih tinggi, toksisitas rendah, serta densitas energi yang lebih tinggi, menjadikannya pilihan yang menarik dalam produksi bahan bakar dan aplikasi industri lainnya (Yan dan Luo, 2017). Berdasarkan data *Research and Markets* dalam laporan Soegiarto & Handoyo (2015), kapasitas produksi  $\gamma$ -valerolactone (GVL) dunia dari tahun 2010 sampai 2014 disajikan pada tabel dibawah ini.

**Tabel 2.** Kapasitas produksi GVL global

| Tahun | Kapasitas Produksi $\gamma$ -valerolactone (GVL) global |
|-------|---|
| 2010  | 685.350   |
| 2011  | 723.500   |
| 2012  | 748.525   |
| 2013  | 779.561   |
| 2014  | 807.058   |

Berdasarkan data hasil analisis, dilakukan regresi dengan nilai  $R^2$  yang tinggi, yaitu sebesar 0,9958, dengan persamaan  $y = 29.948x - 59.505.974$  untuk memperkirakan produksi  $\gamma$ -valerolactone (GVL) secara global di tahun-tahun berikutnya. Berdasarkan perkiraan tersebut, pada tahun 2028 diperkirakan produksi  $\gamma$ -valerolactone (GVL) secara global akan mencapai 1.228.570 ton per tahun. Untuk memproduksi GVL, bahan baku berupa ampas tebu diperoleh dari limbah pabrik gula Glenmore, Banyuwangi dengan jumlah sekitar 310.000 ton ampas tebu pada tahun 2022. Dalam perancangan ini, sisa limbah ampas tebu tersebut akan dimanfaatkan karena sekitar 50% ampas tebu di pabrik gula dimanfaatkan sebagai bahan bakar mesin boiler, sedangkan sisanya tidak digunakan. Direncanakan pabrik GVL yang akan didirikan pada tahun 2028 akan memiliki kapasitas produksi sebesar 15.244 ton per tahun berdekatan dengan pabrik gula Glenmore, Banyuwangi. Dengan kapasitas tersebut, pabrik ini dapat memenuhi sekitar 1,24% kebutuhan GVL dunia.

## 2. Uraian Proses

### 2.1 Macam Proses

#### 2.1.1 Pretreatment

Pretreatment biomassa dilakukan untuk mengubah sifat fisik, biologis, dan kimiawi pada bahan tersebut, pemilihan jenis pretreatment menjadi krusial karena komposisi biomassa sangat

beragam tergantung pada sumbernya (Anukam dan Berghel, 2020). Proses pretreatment dianggap efektif, efisien, dan ekonomis jika memenuhi persyaratan seperti penggunaan bahan kimia murah, konsumsi bahan kimia yang rendah, mencegah denaturasi hemiselulosa dan selulosa, meminimalkan kebutuhan dan konsumsi energi, pengecilan ukuran dengan biaya rendah, dan menghasilkan serat selulosa yang reaktif. Terdapat empat kategori metode pretreatment yang meliputi kimiawi, fisika, biologi, dan fisiokimia (Aftab dkk., 2020). Dibawah ini beberapa jenis pretreatment yang ada.

**Tabel 3.** Metode dan jenis pretreatment

| Metode Pretreatment             | Jenis Pretreatment  |
|---------------------------------|---|
| <i>Pretreatment</i> fisika      | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Miling</i></li> <li>2. <i>Microwave</i></li> <li>3. <i>Extraction</i></li> <li>4. <i>Ultrasounication</i></li> </ol>   |
| <i>Pretreatment</i> kimiawi     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Alkaline pretreatment</i></li> <li>2. <i>Acid hydrolysis</i></li> <li>3. <i>Ionic Liquids (ILs)</i></li> <li>4. <i>Organosolv process</i></li> <li>5. <i>Deep eutectic solvents</i></li> </ol> |
| <i>Pretreatment</i> fisikokimia | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Steam Explosion</i></li> <li>2. <i>Ammonia Fiber Explosion (AFEX)</i></li> <li>3. <i>CO<sub>2</sub> Explosion Pretreatment</i></li> <li>4. <i>Liquid Hot Water (LHW)</i></li> </ol>            |
| <i>Pretreatment</i> biologis    | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Whole cell pretreatment</i></li> <li>2. <i>Enzymatic pretreatment</i></li> </ol>   |

Pada laporan ini, digunakan tiga jenis pretreatment yaitu *milling*, *steam exploitation*, dan *alkaline pretreatment* berdasarkan penelitian oleh Rocha dkk. (2012). *Milling* dipilih karena efektivitasnya dalam memperkecil ukuran partikel biomassa dan pengoperasiannya yang sederhana. *Steam exploitation* dipilih karena metode yang umum dan efektif dalam memecah ikatan glikosidik pada selulosa dan hemiselulosa serta pembelahan ikatan hemiselulosa-lignin dengan suhu dan tekanan yang tinggi. Sedangkan *alkaline pretreatment* digunakan untuk menghilangkan kandungan lignin yang tersisa setelah *steam exploitation*, dengan larutan alkali yang merubah struktur lignoselulosa melalui pembengkakan, mengurangi kristalinitas, meningkatkan luas permukaan internal (Baruah dkk., 2018).

#### 2.1.2 Produksi Asam Levullinat (LA)

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



**Tabel 4.** Perbedaan jenis katalis untuk konversi selulosa menjadi asam levullinat (LA) pada kondisi operasi 180 °C.

| Katalis      | %LA   | %Konversi | %Selektivitas LA |
|--------------|-------|-----------|------------------|
| HCl          | 50,81 | 94,7      | 53,65            |
| Asam oksalat | 1,57  | 37,22     | 4,22             |
| Amberlyst-15 | 29,91 | 71,29     | 41,96            |

**Tabel 5.** Perbedaan jenis pelarut untuk konversi selulosa menjadi asam levullinat (LA)

| Pelarut                    | Suhu operasi (C) | % yield LA | % Konversi | % Selektivitas LA |
|----------------------------|------------------|------------|------------|-------------------|
| H <sub>2</sub> O           | 180              | 39,91      | 71,29      | 41,96             |
| GVL/H <sub>2</sub> O       | 180              | 36,90      | 93,83      | 39,33             |
| GVL/H <sub>2</sub> O       | 200              | 50,40      | 83,54      | 60,33             |
| THF/H <sub>2</sub> O       | 180              | 47,73      | 94,25      | 50,64             |
| THF/H <sub>2</sub> O       | 200              | 34,80      | 87,16      | 39,93             |
| DIO/H <sub>2</sub> O       | 180              | 32,18      | 81,04      | 39,71             |
| Silfolane/H <sub>2</sub> O | 180              | 22,58      | 83,71      | 26,97             |
| DMSO/H <sub>2</sub> O      | 180              | 5,69       | 42,33      | 13,44             |

Sumber: (Ma dkk., 2021)

Katalis asam klorida (HCl) dipilih pada laporan ini dikarenakan komersialisasi dan kondisi operasi yang moderat. Pelarut yang digunakan adalah H<sub>2</sub>O karena kemudahan pengolahan dan ketersediaan yang melimpah, serta *yield* tidak terlalu jauh dari penelitian laboratorium lainnya.

### 2.1.3 Produksi $\gamma$ -valerolactone (GVL)

Pemilihan proses produksi GVL bergantung pada katalis hidrogenasi, katalis Ru menunjukkan hasil yang menjanjikan (Lam dan Uemura, 2015). Pengembangan katalis heterogen mendukung produksi GVL skala komersial dengan pemisahan yang mudah dari fase cair GVL. Berikut ini beberapa katalis yang dapat digunakan untuk konversi asam levullinat (LA) menjadi  $\gamma$ -valerolactone (GVL).

Pada perancangan ini, katalis Ru/C dipilih untuk hidrogenasi LA dengan pertimbangan kondisi

operasi yang moderat dan *yield* yang tinggi, selain itu Ru/C mudah didapatkan dalam jumlah besar karena sudah dikomersialkan.

## 3. Uraian Proses

Perancangan proses ini didasari pada penelitian Bangalore Ashok et al., (2022) yang dimodifikasi dengan sumber biomassa berasal dari ampas tebu.  $\gamma$ -Valerolactone (GVL) adalah produk utama yang dihasilkan dengan meminimalkan biaya operasional melalui jalur produksi asam levulinat. Secara singkat, produksi GVL dari biomassa terdiri dari (1) hidrolisis selulosa menjadi glukosa, (2) dehidrasi glukosa menjadi hidroksimetilfurfural (HMF), (3) hidrasi HMF menjadi asam levulinat dan, (4) hidrogenasi asam levulinat (LA) menjadi GVL (Lam dan Uemura, 2015)

### 3.1 Pretreatment (Steam explosion dan delignifikasi)

Pretreatment menggunakan *steam explosion* dan delignifikasi dilakukan untuk memisahkan fraksi selulosa dan hemiselulosa dengan efektivitas tinggi. Proses dilakukan dengan suhu dan tekanan yang tinggi. Setelah penggilingan, ampas tebu diolah di dalam tangki *steam explosion* dengan tekanan 1,3 MPa dan suhu 191 °C. Selanjutnya, hasil *slurry* dipisahkan menggunakan *cyclone* dan *centrifuge* untuk mendapatkan fraksi selulosa dan hemiselulosa. Fraksi selulosa dan lignin di delignifikasi menggunakan larutan NaOH 1% pada suhu 100 C. Hasil *pulp* selulosa dipindahkan ke unit LA *production*. Dari langkah *pretreatment* ini, kandungan *pulp* adalah: selulosa (83,01%); hemiselulosa (27,46%); lignin (8,85%); dan kadar abu (30,38%) (Rocha dkk., 2012).

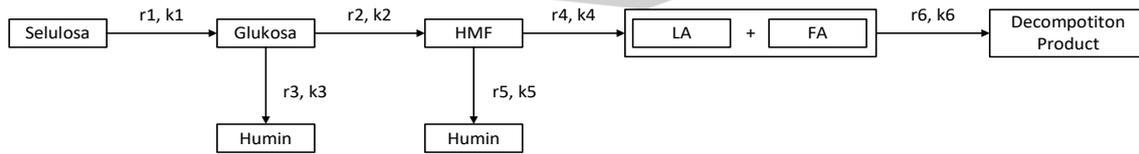
### 3.2 Produksi Asam Levulinat (LA)

Reaksi yang terjadi pada proses ini merupakan reaksi seri dimana selulosa akan dikonversi menjadi asam levullinat melalui beberapa tahap yang ditunjukkan pada **gambar 1**.

**Tabel 6.** Perbedaan jenis katalis untuk konversi LA menjadi GVL

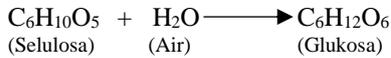
| No. | Katalis                   | Kondisi Operasi |          |       | Yield GVL (% wt) | Referensi                   |
|-----|---------------------------|-----------------|----------|-------|------------------|-----------------------------|
|     |                           | P (bar)         | T (°C)   | t (h) |                  |                             |
| 1.  | 5 wt% Ir/C                | 55              | 150      | 2     | 47               | (Manzer, 2004)              |
| 2.  | 5 wt% Pd/SiO <sub>2</sub> | 90              | 180      | 6     | 96,5             | (Yan dkk., 2013)            |
| 3.  | 5 wt% Cu/ZrO <sub>2</sub> | 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 <sub>2</sub> | 35              | 200      | 5     | 90               | (Hengne dan Rode, 2012)     |
| 7.  | PtO <sub>2</sub>          | 2,3-3           | 22-24    | 44    | 87               | (Schuette dan Thomas, 1930) |
| 8.  | 1 wt% Ru/TiO <sub>2</sub> | 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                | 30 - 60         | 70 - 130 | 1,39  | 98 - 100         | (Piskun dkk., 2016)         |





**Gambar 1.** Tahap reaksi selulosa menjadi asam levullinta (LA), *Sumber: Qiao dkk. (2012)*

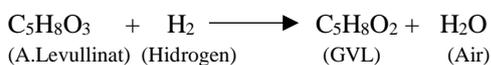
Adapun persamaan reaksinya adalah sebagai berikut (Prasad dkk., 2022a):



Dari persamaan reaksi tersebut, juga terbentuk senyawa humin yang berbentuk padatan. Pada tahap hidrolisis, hasil padatan selulosa dimasukkan ke dalam reaktor alir tangki berpengaduk (RATB) asam levulinat (LA) (R-210) yang menggunakan perlakuan hidrotermal dengan HCl sebagai katalis. Selulosa diubah menjadi campuran asam levulinat dan asam format (FA) dengan pembentukan humin (HUM) karena adanya kondensasi gula yang tidak bereaksi. Reaktor asam levulinat (LA) (R-210) beroperasi pada suhu 180°C dengan penambahan *deionized water* sebagai pelarut. Produk dengan titik didih di bawah suhu operasi akan dihasilkan pada bagian atas dalam bentuk uap, sementara asam levulinat diperoleh pada bagian bawah karena titik didihnya di atas suhu operasi pada tekanan normal (252°C).

### 3.3 Produksi $\gamma$ -valerolactone (GVL)

Bahan baku produksi GVL pada perancangan ini berasal dari asam levullinat yang dihasilkan dari unit produksi asam levulinat melalui reaksi hidrogenasi dalam reaktor *fluidized bed* (FBR). Adapun persamaan reaksinya adalah sebagai berikut (Prasad dkk., 2022a):



Dalam proses hidrogenasi LA, aliran kaya LA dimasukkan ke reaktor (R-310) bersamaan dengan umpan  $\text{H}_2$  pada tekanan 3 MPa dan suhu 180°C menggunakan katalis Ru/C (Piskun dkk., 2016). Aliran hidrogen berlebih dari unit produksi LA dikompres dalam kompresor (G-314) untuk diumpankan kembali ke reaktor. Produk bawah berupa campuran senyawa dengan fraksi GVL terbanyak, kemudian didinginkan dengan *heat exchanger* (E-312) dan dipisahkan menggunakan *flash drum* (D-313). Aliran kaya GVL disimpan dalam tangki penyimpanan (F-318). Diagram alir proses pabrik ini ditunjukkan pada **gambar 2**.

### 4. Neraca Massa dan Neraca Energi

Berdasarkan perhitungan neraca massa, pabrik  $\gamma$ -valerolactone (GVL) dari ampas tebu membutuhkan bahan baku ampas tebu sebanyak 20.316,61 kg/jam, dan menghasilkan produk  $\gamma$ -valerolactone (GVL) 94% sebanyak 1.924,76 kg/jam. *Supply* panas disediakan oleh unit pembangkit *steam* di utilitas. *Steam* masuk pada suhu 240,88 °C. Total kebutuhan *steam* sebesar 68.440,91 kg/jam dengan make up water sebanyak 20% dan dapat menyediakan panas sebesar 58.559.643,12 kJ/jam. Pabrik dirancang beroperasi 330 hari/tahun. Jam kerja yang direncanakan dalam pabrik ini yaitu 24 jam dalam sehari.

### 5. Utilitas

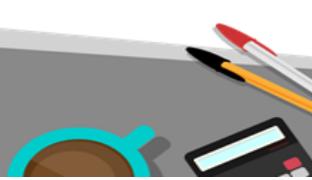
Utilitas adalah unit pendukung proses dalam pabrik. Selain bahan baku dan bahan pembantu, sarana penunjang juga diperlukan agar proses produksi berjalan lancar sesuai yang diinginkan. Utilitas dibutuhkan karena banyak proses kimia memerlukan kondisi operasi khusus yang tidak bisa dicapai secara alami.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

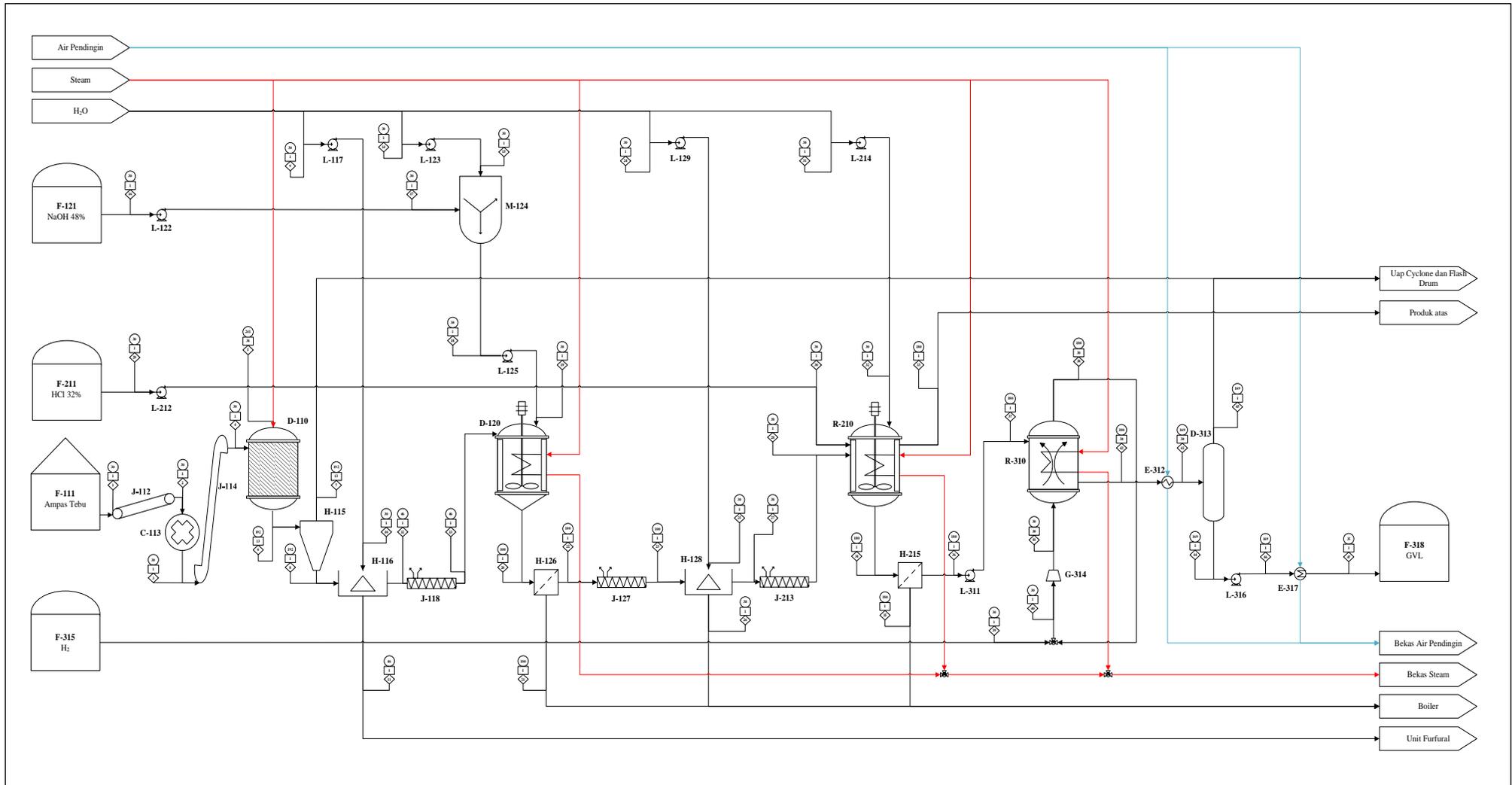
1. Unit penyedia *steam* (uap)
2. Unit pembangkit listrik
3. Unit penyedia bahan bakar
4. Unit pengolahan air

Kebutuhan air sanitasi pabrik sebesar 780.000 kg/jam. Kebutuhan air umpan boiler sebanyak 82.129,094 kg/jam, air proses sebanyak 281.456,942 kg/jam dan penyediaan *steam* (uap) sebesar 82.129,09 kg/jam. Listrik disuplai dari Pembangkit Listrik Negara (PLN) dan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) sebagai cadangan saat pemadaman dari PLN agar operasi pabrik tetap berjalan (Aribowo dkk., 2020). Sedangkan bahan bakar yang digunakan berupa batubara antrasit dan solar dengan masing kebutuhan sebesar 5.544,70 kg/jam dan 405,02 kg/jam

### 6. Analisa Ekonomi

Evaluasi ekonomi pada rancangan pabrik GVL bertujuan untuk menentukan biaya proyek dan





**Gambar 2.** Process Flow Diagram (PFD) pabrik GVL

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 (Fauziyah 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 pabrik adalah sebagai berikut:

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

Analisa ekonomi yang dihasilkan dari pendirian pabrik ini dapat dilihat pada **Tabel 7**. Pay Out Time (POT) yang dihasilkan adalah 4,88

tahun, dimana kurang dari setengah umur pabrik. Rate On Investment (ROI) memiliki nilai lebih besar dari bunga bank, yaitu 18,39%. Adapun Break Even Point (BEP) memiliki nilai 41,81% dimana nilai ini memenuhi ketentuan pabrik layak didirikan, yaitu range 40% s/d 60%.

## 7. Kesimpulan

Berdasarkan uraian dan pembahasan sebelumnya, dapat diambil kesimpulan:

- 1) Lokasi pabrik  $\gamma$ -valerolactone (GVL) dibangun 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 sebanyak 20.316,61 kg/jam dengan produk berupa  $\gamma$ -valerolactone (GVL) 94 %.
- 4) Evaluasi ekonomi diperoleh:
  - a. Lama waktu pengembalian sebesar 4,88 tahun
  - b. Laju Pengembalian Modal sebesar 18%.
  - c. *Break Event Point* sebesar 42%
- 5) Berdasarkan evaluasi ekonomi dapat disimpulkan bahwa Pabrik  $\gamma$ -valerolactone (GVL) dari ampas tebu dengan kapasitas 15.244 ton/tahun ini layak untuk didirikan.

**Tabel 7.** Rangkuman analisa ekonomi

| No. | Komponen                    | Nilai                    |
|-----|-----------------------------|--------------------------|
| 1   | TCI Total Modal             | Rp. 2.495.025.912.863,40 |
| 2   | TPC Ongkos Produksi         | Rp. 2.328.696.629.584,81 |
| 3   | Keuntungan (Laba bersih)    | Rp. 390.077.891.208,36   |
| 4   | POT Lama Waktu Pengembalian | 4,88 tahun               |
| 5   | ROI Laju Pengembalian Modal | 18,39%                   |
| 6   | BEP Break Event Point       | 41,81%                   |



## 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.
- Aftab, M. N., I. Iqbal, F. Riaz, A. Karadag, dan M. Tabatabaei. 2020. *Different Pretreatment Methods of Lignocellulosic Biomass for Use in Biofuel Production*. Dalam *Biomass for Bioenergy - Recent Trends and Future Challenges*
- Al-Shaal, M. G., W. R. H. Wright, dan R. Palkovits. 2012. Exploring the ruthenium catalysed synthesis of  $\gamma$ -valerolactone in alcohols and utilisation of mild solvent-free reaction conditions. *Green Chemistry*. 14(5):1260–1263.
- Alonso, D. M., S. G. Wettstein, dan J. A. Dumesic. 2013a. Gamma-valerolactone, a sustainable platform molecule derived from lignocellulosic biomass. *Green Chemistry*. 15(3):584–595.
- Alonso, D. M., S. G. Wettstein, M. A. Mellmer, E. I. Gurbuz, dan J. A. Dumesic. 2013b. Integrated conversion of hemicellulose and cellulose from lignocellulosic biomass. *Energy and Environmental Science*. 6(1):76–80.
- 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. *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  $\gamma$ -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.
- Du, X., Y. Liu, J. Wang, Y. Cao, dan K. Fan. 2013. Catalytic conversion of biomass-derived levulinic acid into  $\gamma$ -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  $\gamma$ -valerolactone by hydrogenation of biomass-derived levulinic acid. *Green Chemistry*. 14(3):688–694.
- Hengne, A. M. dan C. V. Rode. 2012. Cu-zrO<sub>2</sub> nanocomposite catalyst for selective hydrogenation of levulinic acid and its ester to  $\gamma$ -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 untag 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  $\alpha$ -methylene- $\gamma$ -valerolactone: a biomass-derived acrylic monomer. *Applied Catalysis A: General*. 272(1–2):249–256.
- 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  $\gamma$ -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  $\gamma$ -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 g hydroxymethylfurfural ( 5-hmf ) dari pohon cemara. 190
- Putro, J. N., A. Kurniawan, F. E. Soetaredjo, S. Y. Lin, Y. H. Ju, dan S. Ismadji. 2015. Production of gamma-valerolactone from sugarcane bagasse over tio<sub>2</sub>-supported platinum and acid-activated bentonite as a co-catalyst. *RSC Advances*. 5(51):41285–41299.
- Qiao, Z., Z. Wang, C. Zhang, S. Yuan, Y. Zhu, dan J. Wang. 2012. PVAm–pip/ps composite membrane with high performance for co<sub>2</sub>/n<sub>2</sub> separation. *AIChE Journal*. 59(4):215–228.
- 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.
- Soegiarto, A. S. dan N. Handoyo. 2015. Prarencana pabrik produksi nonana dari  $\gamma$ -valerolactone (gv) kapasitas 55.063.871 kg/tahun. *Repositori Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya*
- Sudri, N. M., B. C. Nendissa, dan Y. Herawati. 2012. Analisis sistem perawatan komponen generator starter pada mesin pesawat di pt xyz. *Jurnal Teknik Dan Ilmu Komputer*. 1(3):287–293.
- 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  $\gamma$ -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  $\gamma$ -valerolactone from biomass-derived levulinic acid using the robust pd nanoparticles. *Applied Catalysis A: General*. 468:52–58.
- Yan, K. dan H. Luo. 2017. Production of  $\gamma$ -valerolactone from biomass. 413–436.
- 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.

