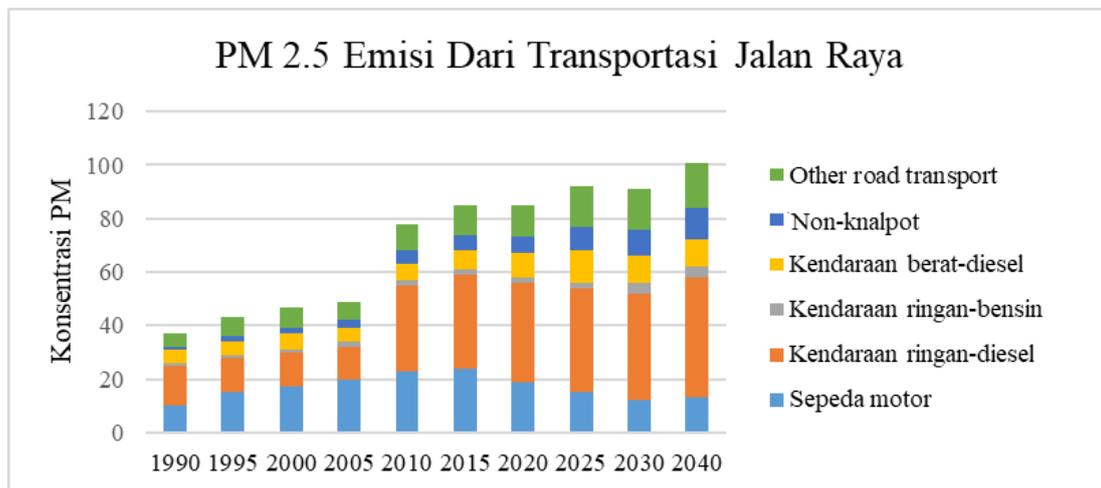


BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Indonesia, negara kepulauan yang terkenal dengan keanekaragaman hayati dan budayanya yang kaya, saat ini sedang menghadapi tantangan lingkungan yang mendesak: polusi udara. Di antara sekian banyak kontributor terhadap masalah ini, mesin diesel telah muncul sebagai sumber polusi yang signifikan, membayangi kualitas udara dan kesehatan masyarakat. Masalah yang kompleks ini menuntut pemeriksaan menyeluruh untuk memahami kedalaman dampaknya dan untuk membuka jalan bagi strategi mitigasi yang efektif.



Gambar I.1 Data Sumber Polusi Udara di Indonesia 2023 (BMKG, 2023)

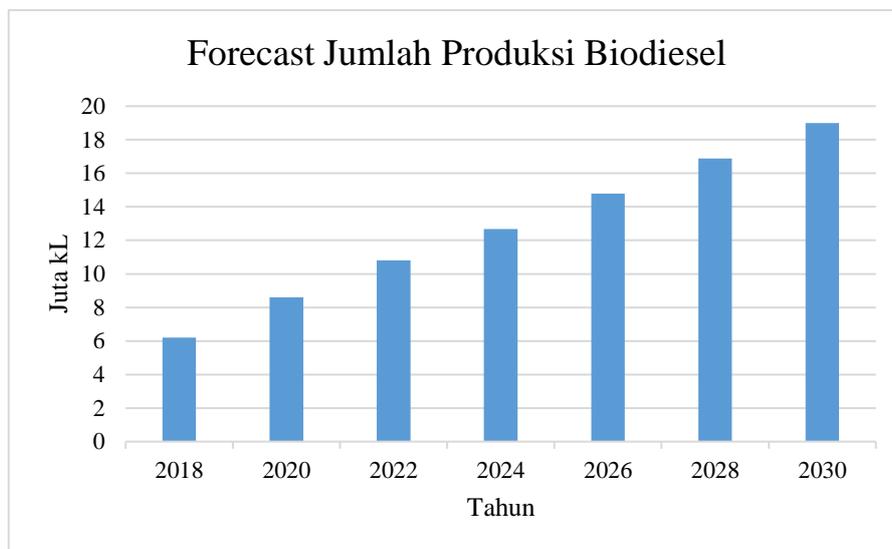
Mesin diesel, yang banyak digunakan untuk transportasi, kegiatan industri, dan pembangkit listrik di Indonesia, merupakan salah satu penyebab penurunan kualitas udara seperti yang dapat dilihat pada **Gambar I.1**. Mesin-mesin ini membakar bahan bakar diesel dan melepaskan campuran polutan ke atmosfer. Di antara polutan utama yang dihasilkan adalah partikulat (PM), nitrogen oksida (NO_x), sulfur dioksida (SO₂), dan karbon monoksida (CO). Polutan ini tidak hanya menimbulkan risiko kesehatan secara langsung, tetapi juga berkontribusi terhadap degradasi lingkungan jangka panjang. Menurut studi komprehensif yang dilakukan oleh lembaga lingkungan dan lembaga penelitian, emisi mesin diesel secara signifikan berkontribusi terhadap penurunan kualitas udara di seluruh negeri (Ibrahim Aslan Resitoglu, dkk., 2014). Partikulat, yang terdiri dari partikel-partikel kecil yang melayang di udara, menjadi

perhatian utama. Mesin diesel mengeluarkan partikel halus, PM 2.5 dan PM 10, yang dapat masuk jauh ke dalam sistem pernapasan, menyebabkan berbagai masalah kesehatan. Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) memperkirakan bahwa paparan PM 2.5 saja berkontribusi terhadap jutaan kematian dini di seluruh dunia setiap tahunnya. Dalam konteks Indonesia, pusat-pusat perkotaan dengan konsentrasi tinggi kendaraan bertenaga diesel dan kegiatan industri sangat rentan terhadap peningkatan kadar PM. Konsekuensi dari emisi mesin diesel tidak hanya terbatas pada kesehatan manusia, tetapi juga pada ekosistem, yang berdampak pada kualitas tanah, badan air, dan vegetasi. Seiring dengan pesatnya industrialisasi dan urbanisasi di Indonesia, efek kumulatif dari polusi udara yang disebabkan oleh diesel menjadi isu penting yang harus ditangani.

Setelah mengenali masalah kritis polusi udara yang berasal dari mesin diesel di Indonesia, fokus sekarang bergeser ke tantangan yang terkait dengan sumber bahan bakar. Menyadari perlunya mengatasi dampak lingkungan dari mesin-mesin ini, Indonesia saat ini tengah menjalankan program *net zero emission* yang akan dicanangkan dapat tercapai pada tahun 2060. Komitmen Indonesia untuk mencapai target ini sedang digalakan dengan masif khususnya di sektor energi yang merupakan hambatan terbesar untuk mencapai kondisi tersebut. Hingga saat ini, Indonesia masih sangat bergantung pada penggunaan energi fosil sebagai sumber energi utama dengan total konsumsi energi sebesar 76% dari total penggunaan energi pada tahun 2022 (Wirawan et al. 2024). Penggunaan energi fosil ini menyumbang jumlah polusi yang sangat besar di Indonesia, sehingga penggunaan energi terbarukan menjadi sebuah alternatif dan Indonesia saat ini telah memulai perjalanan untuk mengeksplorasi sumber bahan bakar alternatif, dan biodiesel muncul sebagai solusi yang menjanjikan. Ketergantungan terhadap bahan bakar diesel konvensional tidak hanya meningkatkan polusi udara, tetapi juga menekankan kerentanan negara ini terhadap fluktuasi harga minyak dunia. Biodiesel adalah bahan bakar nabati dalam bentuk *fatty acid methyl ester* (FAME) yang dapat diperoleh dari proses esterifikasi minyak nabati seperti minyak kelapa sawit. Bahan bakar ini sedang banyak dikembangkan untuk digunakan sebagai bahan bakar alternatif.

Sejak tahun 2020, melalui Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 12 Tahun 2015, penggunaan bahan bakar campuran biodiesel sebesar

30% telah diimplementasikan sebagai program wajib di Indonesia. Dengan memasukkan biodiesel yang berasal dari sumber daya terbarukan seperti minyak kelapa sawit dan bahan nabati lainnya, pemerintah berupaya mengurangi jejak karbon yang terkait dengan bahan bakar fosil tradisional. Untuk merealisasikan target ini, Indonesia secara konsisten meningkatkan volume produksi biodiesel dalam negeri setiap tahunnya. Dengan menggunakan metode prakiraan, Indonesia diperkirakan akan memproduksi sekitar 19 juta kiloliter biodiesel pada tahun 2030 seperti yang terlihat pada **Gambar I.2**.



Gambar I.2 Total Produksi Biodiesel Nasional

Namun, kebijakan ini juga menghadapi kendala lain, seperti kemungkinan terjadinya defisit neraca minyak kelapa sawit dan risiko deforestasi akibat pembukaan lahan kelapa sawit yang dapat menyebabkan masalah pangan dan mengurangi penyerapan emisi, karena hutan jauh lebih baik dalam menyerap emisi dibandingkan dengan perkebunan kelapa sawit dan daya serap karbon lahan kelapa sawit yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan hutan alam, sehingga berkontribusi terhadap peningkatan kadar karbon di atmosfer dan memperburuk efek rumah kaca. Indonesia, sebagai salah satu produsen minyak kelapa sawit terbesar di dunia, menghadapi tugas yang sulit untuk menyeimbangkan manfaat ekonomi yang diperoleh dari industri ini dengan keharusan untuk melestarikan warisan alam yang tak ternilai harganya. Ekspansi perkebunan kelapa sawit tanpa henti, yang didorong oleh permintaan FAME untuk biodiesel, merupakan ancaman langsung terhadap keanekaragaman hayati yang

kaya di negara ini dan berkontribusi secara signifikan terhadap deforestasi, sebuah masalah yang melampaui batas negara dan berdampak pada lingkungan global. Oleh karena itu, penggunaan bahan bakar terbarukan tidak dapat begitu saja menggantikan bahan bakar fosil tetapi juga harus mempertimbangkan aspek keberlanjutan dan dampaknya terhadap lingkungan (Vikram Surya Husada, dkk., 2023).

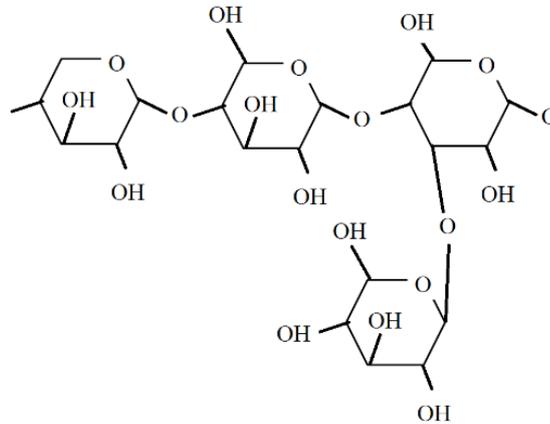
Selama beberapa dekade terakhir, banyak upaya yang telah dilakukan untuk mengembangkan bahan bakar bersih dan terbarukan untuk mengatasi masalah pemanasan global, polusi udara yang ditimbulkan dari mesin diesel, masalah emisi gas rumah kaca sebagai akibat dari penggunaan bahan bakar nabati yang berlebihan serta mendukung program mandatori pemerintah Republik Indonesia menuju B40. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dapat digunakan bahan aditif untuk biodiesel untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar nabati yang terbatas seperti menggunakan gamma valerolakton. Gamma valerolakton dapat dihasilkan menggunakan hemiselulosa yang dapat berasal dari bahan limbah biomassa yang mengandung lignoselulosa seperti tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Material yang berasal dari limbah industri minyak sawit ini memiliki jumlah yang sangat melimpah di Indonesia dimana Kementerian Perindustrian Republik Indonesia (Kemenperin RI) mencatatkan jumlah limbah TKKS di Indonesia mencapai 51 juta ton pada tahun 2022. Namun hingga kini, Indonesia hanya menggunakan TKKS sebagai pupuk atau arang saja. Oleh karena itu, pendirian pabrik gamma valerolakton berbahan dasar TKKS akan dapat memanfaatkan potensi dari limbah ini dengan menghasilkan material yang bermanfaat di berbagai sektor khususnya sebagai bahan aditif untuk biodiesel.

I.2. Sifat-sifat Bahan Baku dan Produk

I.2.1. Hemiselulosa

Hemiselulosa merupakan salah satu komponen kimia yang ada di dalam bahan biomassa seperti TKKS. Hemiselulosa sering dikaitkan dengan selulosa, padahal hemiselulosa mengandung banyak monomer gula yang berbeda, sedangkan selulosa hanya mengandung glukosa anhidrat yang dapat dilihat pada **Gambar I.3**. TKKS merupakan material lignoselulosa dengan kandungan komponen tertinggi berupa selulosa dan hemiselulosa (Sudiyani, 2013). Nilai dari material lignoselulosa ini dapat diubah menjadi bahan kimia yang lebih berharga seperti gamma valerolakton

yang dibuat dari hemiselulosa melalui proses hidrolisis dan dehidrasi menjadi furfural yang kemudian dihidrogenasi menjadi senyawa gamma valerolakton. Sifat-sifat dari bahan ini dapat dilihat dari **Tabel I.1**.



Gambar I.3 Hemiselulosa

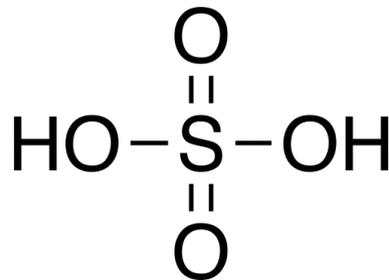
Tabel I.1 Sifat Hemiselulosa (Sudiyani, 2013)

| Sifat | Keterangan |
|---------------|-----------------------|
| Densitas | 1,52 g/mL (pada 20°C) |
| Bau | Tidak berbau |
| Wujud | Padatan putih |
| Titik didih | 78,32 °C |
| Titik leleh | 112 °C |
| Kelarutan | Tidak larut dalam air |
| Berat Molekul | 94,11 g/mol |

I.2.2. Asam Sulfat

Asam sulfat adalah senyawa anorganik yang kuat dan memiliki rumus kimia H₂SO₄ yang dapat dilihat pada **Gambar I.4**. Senyawa ini sangat korosif dan larut dalam air pada semua perbandingan. Senyawa ini banyak sekali digunakan industri termasuk salah satunya sebagai katalis mineral asam untuk pembuatan furfural yang akan digunakan dalam proses pembuatan GVL. Asam sulfat akan bertindak sebagai katalis asam Brønsted untuk proses hidrolisis dari polisakarida (hemiselulosa) yang menghasilkan hidrolisat yang kaya akan gula. Dalam hal ini, monosakarida yang

paling mendominasi adalah xilosa. Selain menjadi katalis utama dalam proses hidrolisis hemiselulosa, asam sulfat juga meningkatkan proses dehidrasi dari xilosa menjadi furfural sebagai asam Lewis (Padilla-Rascón, 2020; Saeid, 2014). Sifat-sifat asam sulfat dapat dilihat dari **Tabel I.2**.



Gambar I.4 Asam Sulfat

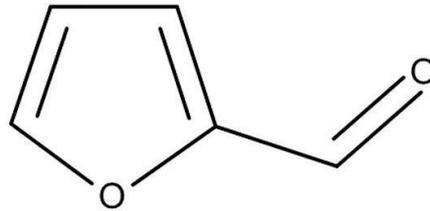
Tabel I.2 Sifat-sifat Asam Sulfat (Padilla-Rascón, 2020; Saeid, 2014)

| Sifat | Keterangan |
|-----------------|----------------------------|
| Densitas | 1,84 g/mL |
| Bau | Tidak berbau |
| Warna | Tidak berwarna |
| Wujud | Cairan |
| Titik didih | 315-338°C |
| Titik leleh | 10,35°C |
| pH | 0,5-3 |
| pK _a | 1,98 (pada 20°C) |
| Viskositas | 26,7 mPas (pada 20°C) |
| Reaktivitas | Korosif dan sangat reaktif |
| Kelarutan | Larut dalam air |
| Berat Molekul | 98,08 g/mol |

I.2.3. Furfural

Furfural merupakan material yang dihasilkan dari proses hidrolisis dan dehidrasi dari biomassa seperti TKKS. Furfural merupakan bahan kimia yang berharga dan dapat digunakan pada berbagai sektor di industri kosmetik, resin, farmasi dan lain sebagainya (Padilla-Rascón, 2020; Panjaitan, 2017). Sebagai *mid-product*, furfural

akan digunakan dalam proses hidrogenasi menjadi gamma valerolakton. Sifat-sifat dari furfural dapat dilihat dari **Tabel I.3** serta struktur dari furfural dapat dilihat dari **Gambar I.5**.



Gambar I.5 Furfural

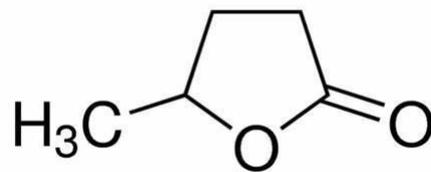
Tabel I.3 Sifat-sifat Furfural (Padilla-Rascón, 2020; Panjaitan, 2017)

| Sifat | Keterangan |
|-----------------|-----------------------|
| Densitas | 1,16 g/mL (pada 20°C) |
| Bau | Seperti almond |
| Wujud | Cairan minyak |
| Warna | Tidak berwarna |
| Tekanan uap | 2 mmHg (20°C) |
| Suhu nyala | 315°C |
| Viskositas | 1,49 cP |
| Titik didih | 161,7°C |
| Titik beku | 36,5°C |
| Titik leleh | -37°C |
| Kelarutan | 83 g/L (dalam air) |
| Indeks refraksi | 1,5235 (pada 25°C) |
| Berat molekul | 96,085 g/mol |

1.2.3. Gamma Valerolakton

Gamma valerolakton pada umumnya dihasilkan dari material lignoselulosa dan merupakan produk utama pada proses ini dimana struktur dari GVL ini dapat dilihat dari **Gambar I.6**. Gamma valerolakton didapatkan dari proses hidrogenasi dari furfural menggunakan katalis meso-zr-al-beta zeolit. Gamma valerolakton memiliki

sifat yang unggul dalam hal konsentrasi oksigen jika dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Namun gamma valerolakton akan lebih baik jika digunakan sebagai bahan aditif untuk bahan bakar dibandingkan digunakan sebagai bahan bakar secara langsung. Hal ini dikarenakan, bilangan sentana yang rendah yang dapat mempengaruhi kinerja mesin diesel (Clauser, 2021). Sebagai bahan tambahan untuk biodiesel, gamma valerolakton diketahui dapat mengurangi total hidrokarbon, emisi karbon monoksida, dan asap hasil pembakaran mesin diesel dengan performa dan konsumsi bahan bakar yang hampir serupa (Á. Bereczky, 2013). Sifat-sifat gamma valerolakton dapat dilihat berdasarkan **Tabel I.4**.



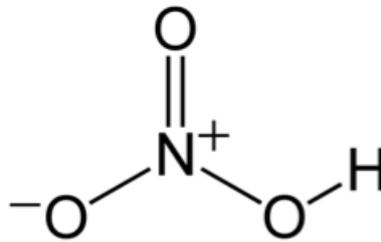
Gambar I.6 Gamma Valerolakton

Tabel I.4. Sifat-sifat Gamma Valerolakton (Á. Bereczky, 2013)

| Sifat | Keterangan |
|------------------|---------------------------------------------------------|
| Densitas | 1,0546 g/mL (pada 20°C) |
| Bau | Berbau manis |
| Wujud | Cairan |
| Warna | Tidak berwarna |
| Kelarutan | Tidak larut dalam air, larut pada kloroform dan metanol |
| Kestabilan | Stabil pada suhu ruang dengan kondisi tertutup |
| Tekanan uap | 0,22-0,33 mmHg (pada 20°C) |
| Indeks refraktif | 1,4333 (pada 20°C) |
| Titik didih | 207-208°C |
| Titik leleh | -31°C |
| pH | 7 (dalam air, 20°C) |
| BM | 100,116 g/mol |

I.2.4. Asam Nitrat

Pada proses penyiapan katalis, asam nitrat digunakan untuk proses dealuminasi dari material beta zeolit komersial dimana struktur dari asam nitrat dapat dilihat dari **Gambar I.7**. Proses ini berjalan dengan menghilangkan sebagian alumunium yang ada pada beta zeolit agar prekursor logam zirconium klorida bisa dimasukkan ke dalam katalis dan membentuk Zr-HY (Song, 2017; Zhang, 2019). Sifat-sifat asam oksalat dapat dilihat pada **Tabel I.5**.



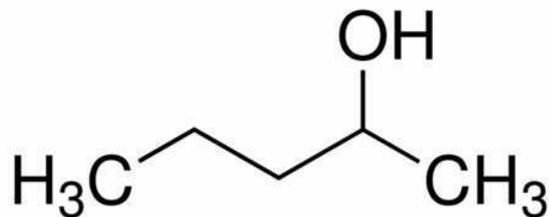
Gambar I.7 Asam Nitrat

Tabel I.5 Sifat-sifat Asam Nitrat (Song, 2017; Zhang, 2019)

| Sifat | Keterangan |
|-------------|---------------------|
| Warna | Tak berwarna |
| Bau | Berbau tajam |
| Titik lebur | -42°C |
| Titik didih | 83°C |
| BM | 63,012 g/mol |
| Densitas | 1,51 g/mL (20°C) |
| Viskositas | 0,746 mPa.s |
| Kelarutan | Larut dalam air |
| Wujud | Cairan |
| Reaktifitas | Oksidan dan korosif |

I.2.5. 2-Pentanol

Dalam reaktor hidrogenasi, 2-pentanol akan digunakan sebagai pelarut untuk proses hidrogenasi furfural menjadi gamma valerolakton. Karena proses hidrogenasi yang terjadi menggunakan reaksi Meerwein-Ponndorf-Verley, 2-pentanol ini tidak hanya digunakan sebagai pelarut saja namun juga dapat bertindak sebagai donor hidrogen dalam proses hidrogenasi (Zhang, 2019). Struktur dari 2-pentanol dapat dilihat dari **Gambar I.8** dan sifat-sifat dari senyawa ammonium hidroksida dapat dilihat dari **Tabel I.6**.



Gambar I.8 2-pentanol

Tabel I.6 Sifat-sifat 2-pentanol (Zhang, 2019)

| Sifat | Keterangan |
|------------------|-----------------------------|
| Wujud | Cair |
| Warna | Tidak berwarna |
| Bau | Tajam (5-50 ppm) |
| pH | 11,7 |
| Titik didih (°C) | 27°C |
| Densitas | 0,89 |
| Solubilitas | Terlarut sempurna dalam air |
| BM | 35,05 g/mol |

I.2.6. Zr-HY dan Al-HY

Zr-HY merupakan katalis yang terbentuk melalui proses dealuminasi katalis Al-beta komersial menggunakan asam nitrat yang ditambahkan dengan prekursor metal berupa zirconium klorida. Katalis ini kemudian dikalsinasi pada suhu 500°C selama 6 jam. Sedangkan Al-HY merupakan zeolist komersial dengan perbandingan Si/Al 6. Kedua katalis ini, akan ditambahkan secara simultan agar dapat menghasilkan yield gamma valerolakton yang tinggi. Dalam proses hidrogenasi, Katalis Zr-HY memiliki situs asam Lewis yang lebih mendominasi daripada situs asam Brønsted sedangkan katalis Al-HY lebih efektif sebagai situs asam Bronsted. Situs-situs asam yang ada pada katalis inilah yang akan berperan penting untuk mengubah furfural menjadi gamm valerolakton (Zhang, 2019).

Tabel I.7 Karakteristik Zr-HY dan Al-HY (Zhang, 2019)

| Sifat | Keterangan |
|-------------|------------|
| • Zr-HY | |
| rasio Si/Al | 15 |
| rasio Si/Zr | 20 |
| • Al-HY | |
| rasio Si/Al | 6 |

I.3. Kegunaan dan Keunggulan Produk

Penggunaan gamma valerolakton sebagai bahan aditif untuk biodiesel dapat menurunkan emisi yang dihasilkan mesin diesel seperti karbon monoksida dan *total unburned carbon* serta asap dari biodiesel yang dapat berkurang hingga 47% jika dibandingkan dengan biodiesel tanpa campuran gamma valerolakton. Dengan menambahkan gamma valerolakton yang dibuat dari limbah TKKS, hal ini akan meningkatkan ketahanan energi dari negara Indonesia dibandingkan dengan menggunakan biodiesel murni yang bersumber dari *crude palm oil* (CPO) dimana komoditas ini sangat penting bagi industri pangan di Indonesia. Lebih jauh, penggunaan biodiesel yang hanya berasal dari CPO saja dapat menimbulkan masalah lingkungan seperti deforestasi. Selain sebagai bahan aditif untuk biodiesel, gamma valerolakton juga dapat juga digunakan sebagai *green solvent*, sebagai prekursor bahan

kimia yang berharga, sebagai monomer untuk polimer, dan dapat digunakan di industri makanan maupun farmasi (Á. Bereczky, 2013).

I.4. Ketersediaan Bahan Baku dan Analisis Pasar

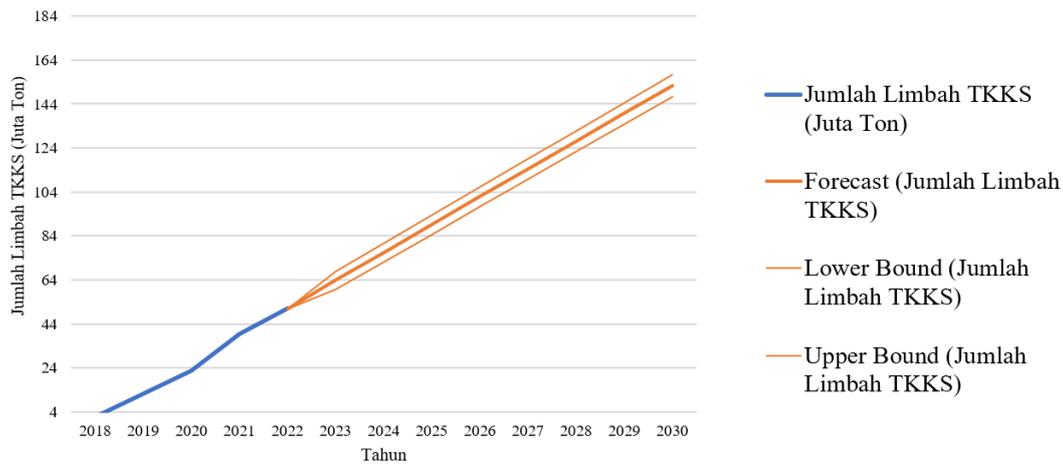
I.4.1. Ketersediaan Bahan Baku

Indonesia merupakan salah satu penghasil kelapa sawit terbesar di dunia dengan salah satu daerah yang paling banyak menghasilkan kelapa sawit adalah Kalimantan. Berdasarkan badan pusat statistika, produksi kelapa sawit di daerah Kalimantan dapat mencapai 20 juta ton pada tahun 2021. Data mengenai produksi kelapa sawit di berbagai provinsi Kalimantan pada tahun 2019 hingga 2021 dapat dilihat pada **tabel I.8** berikut

Tabel I.8 Jumlah Produksi Kelapa Sawit di Setiap Provinsi Kalimantan

| Provinsi | Jumlah (ribu ton) | | |
|--------------------|-------------------|------------|------------|
| | Tahun 2019 | Tahun 2020 | Tahun 2021 |
| Kalimantan Barat | 5235,30 | 5471,40 | 5835,90 |
| Kalimantan Tengah | 7664,80 | 7685,80 | 8600,90 |
| Kalimantan Selatan | 1665,40 | 1561,10 | 1212,80 |
| Kalimantan Timur | 3988,90 | 3823,20 | 3808,70 |
| Kalimantan Utara | 281,40 | 301,60 | 570,00 |

Pada umumnya, kelapa sawit akan menghasilkan limbah padat berupa tandan kosong kelapa sawit dengan persentase berat sekitar 23% dari tandan buah segar kelapa sawit (TKKS) (Panjaitan, 2017). Kementerian Perindustrian Republik Indonesia (Kemenperin RI) mencatat jumlah limbah TKKS di Indonesia mencapai 51 juta ton di tahun 2022, diperkirakan akan mencapai 152,457 juta ton di tahun 2030 dengan menggunakan metode *forecast* yang dapat dilihat pada **Gambar I.9**.



Gambar I.9 Grafik forecasting jumlah limbah hingga tahun 2030

Lokasi berdirinya pabrik gamma valerolakton akan berada di daerah Kalimantan Utara khususnya di daerah Gunung Seriang. Meskipun daerah Kalimantan Utara bukan merupakan penghasil kelapa sawit terbesar di Kalimantan, daerah Gunung Seriang berada dekat dengan batasan dengan Kalimantan Timur. Kemudahan akses transportasi laut dapat dipertimbangkan untuk kegiatan distribusi serta lokasi Kalimantan Utara sedang dikembangkan “kawasan industri hijau” dengan fokus pada energi hijau dan sumber daya terbarukan (Dewi Elvia Muthiariny, 2023). Oleh karena itu, Kalimantan Utara dipilih sebagai lokasi pendirian pabrik GVL dengan banyak pertimbangan. Dengan melimpahnya bahan baku yang didukung dengan beberapa faktor keunggulan dari lokasi pendirian pabrik GVL terhadap kontinuitas produksi dari gamma valerolakton untuk mencapai target produksi 100.000 ton per tahun dapat dipastikan tetap terjaga.

I.4.2. Analisis Pasar

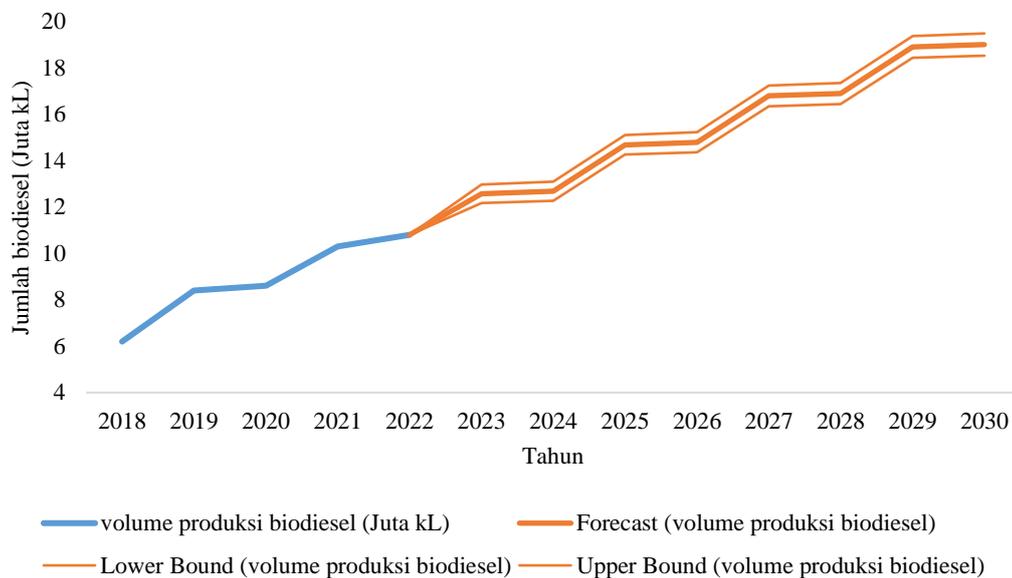
Hingga saat ini, Indonesia telah sukses menerapkan program mandatori B30 (biodiesel 30%) dan bahkan telah berhasil beralih ke B35 pada awal tahun 2023. Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), komitmen untuk program mandatori biodiesel terus berkembang, dengan target mencapai program B40 pada tahun 2030 dan B50 pada tahun 2050 (dikutip dari bisnis.com). Untuk mewujudkan target ini, Indonesia secara konsisten meningkatkan volume produksi biodiesel di dalam negeri setiap tahunnya. Detail peningkatan produksi biodiesel

Indonesia dapat ditemukan dalam **tabel I.9** berikut, yang diambil dari sumber Databoks.

Tabel I.9 Produksi biodiesel Indonesia 2018-2019

| Tahun | Jumlah produksi biodiesel (Juta kL) |
|-------|-------------------------------------|
| 2018 | 6,2 |
| 2019 | 8,4 |
| 2020 | 8,6 |
| 2021 | 10,3 |
| 2022 | 10,8 |

Dengan menggunakan metode forecast, Indonesia diprediksi akan memproduksi sekitar 19 juta kiloliter biodiesel di tahun 2030 seperti yang terlihat pada **Gambar I.10**.



Gambar I.10 Grafik forecasting produksi biodiesel hingga tahun 2030

Menurut jurnal dari Á. Bereczky et al., gamma valerolakton diketahui dapat digunakan sebagai bahan aditif untuk biodiesel (FAME) dengan komposisi 7% gamma valerolakton, 22 % biodiesel, dan 71% diesel atau setara dengan campuran biodiesel 30% (B30) (Á. Bereczky, 2013). Dalam konteks rencana pemerintah untuk menjalankan program mandatori B40 pada tahun 2030, perhitungan persentase kebutuhan gamma valerolakton sebagai bahan aditif dengan merujuk pada perbandingan pada campuran B30 dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & \text{Persentase kebutuhan gamma valerolakton di B40} \\ &= \frac{\text{Persentase gamma valerolakton untuk B30}}{\text{Persentase biodiesel B30}} \times \text{persentase biodiesel B40} \end{aligned}$$

$$= \frac{7\%}{30\%} \times 40\% = 9,33\%$$

Kemudian dengan menggunakan persentase tersebut, banyaknya kebutuhan gamma valerolakton untuk B40 pada tahun 2030 dalam satuan tonase dapat dilihat melalui perhitungan berikut ini

$$\begin{aligned} &= \text{Kebutuhan biodiesel tahun 2030} \times \\ &\text{persentase kebutuhan GVL untuk B40} \times \text{densitas GVL} \\ &= 19.005.609 \text{ kL} \times 9,33\% \times 1,05 \frac{\text{ton}}{\text{kL}} = 1.796.030,051 \text{ ton} \end{aligned}$$

Secara global, mayoritas produksi gamma valerolakton saat ini terfokus di Cina, Jepang, Eropa, dan Amerika Utara, dengan China memegang kendali utama dalam sektor produksi. China memiliki tiga perusahaan utama yang mendominasi lebih dari 75% pangsa pasar produk gamma valerolakton, seperti Anhui Hyea Aromas, Dideu Industries, dan Kunshan Qiandeng Baihua. Anhui Hyea Aromas, sebagai pemimpin produsen gamma valerolakton, memiliki kapasitas produksi sekitar 2600 ton per tahun (dikutip dari medium.com, 360researchreports.com, dan chinachem.net). Di Indonesia, data impor untuk produk gamma valerolakton relatif kecil (1-100 kg), dan beberapa industri, seperti PT. Essence Indonesia, PT. Givaudan, dan PT. Lavarian Aromindo Pratama, mengimpor produk ini hanya sebagai perisa atau essence (dikutip dari volza). Produk gamma valerolakton yang kebanyakan digunakan pada industri makanan menjadi alasan mengapa kapasitas produksi produk ini tidak terlalu masif.

Dengan adanya penggunaan gamma valerolakton sebagai bahan aditif untuk bahan bakar B40, peningkatan kapasitas produksi ini perlu dilakukan agar dapat memenuhi kebutuhan tersebut. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ashok et al., perancangan pabrik gamma valerolakton telah berhasil untuk digunakan salah satunya sebagai *biofuels* dari bahan biomassa dengan kapasitas produksi mencapai 35.000 ton (Bangalore Ashok, 2022). Potensi produksi biofuel dari bahan biomassa dalam kapasitas produksi 35.000 ton ini bisa menghasilkan NPV sebesar 153 MV pada akhir masa proyek dan tingkat pengembalian internal ditemukan lebih dari tingkat diskon (10%). Pencapaian ini dapat dianggap sebagai indikator keberhasilan yang signifikan, karena net present value (NPV), yang merupakan metrik keuangan yang mengukur profitabilitas suatu investasi. NPV yang positif menunjukkan bahwa investasi tersebut diharapkan menghasilkan lebih banyak uang daripada biaya yang dikeluarkan, sehingga menghasilkan hasil yang diinginkan untuk proyek apa pun,

termasuk produksi biofuel. Oleh karena itu, pendirian pabrik gamma valerolakton dengan kapasitas 100.000 ton per tahun masih menjadi opsi yang memungkinkan karena bisa menutupi sekitar 5% dari kebutuhan bahan aditif B40 dan produk ini dapat dipertimbangkan karena bisa meningkatkan ketahanan energi dengan mendiversifikasi penggunaan bahan bakar. Peningkatan kebutuhan gamma valerolakton secara global sebesar 5,02% dari tahun 2022 hingga 2030, dapat berkontribusi pada ekonomi sirkular dengan memanfaatkan sumber daya terbarukan, mengurangi limbah, dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil serta dapat mendukung pengembangan kawasan industri hijau di Kalimantan Utara yang berfokus pada pertumbuhan industri berkelanjutan dan ramah lingkungan. Hal ini sejalan dengan upaya kawasan ini untuk beralih dari ketergantungan pada pertambangan dan melakukan transisi menuju ekonomi berteknologi tinggi dan rendah karbon, maka pendirian pabrik ini layak untuk dipertimbangkan (Mthembu, 2023).