

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Penggunaan pelarut berbasis minyak bumi secara luas di berbagai sektor industri telah menimbulkan kekhawatiran serius terkait dampak lingkungan dan kesehatan akibat sifat toksiknya serta ketergantungannya pada sumber daya yang tidak dapat diperbarui. Kondisi ini mendorong upaya penelitian dan pengembangan terhadap sumber pelarut alternatif yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan, yang tidak hanya menekan risiko kesehatan tetapi juga berkontribusi terhadap praktik industri hijau. Regulasi terbaru pun semakin memperkuat urgensi ini. Sebagai contoh, meskipun regulasi domestik seperti Permenaker No. 5 Tahun 2018 masih memberikan toleransi batas paparan yang relatif tinggi terhadap pelarut turunan minyak bumi beracun seperti Dimetilformamida (DMF) sebesar 10 ppm dan benzena sebesar 0,5 ppm, peraturan internasional menunjukkan langkah yang jauh lebih ketat. Melalui REACH (*Registration, Evaluation, Authorisation, and Restriction of Chemicals*), Uni Eropa menerapkan pembatasan lebih tegas terhadap pelarut tersebut, termasuk pelarangan produksi dan distribusi DMF sejak Desember 2023 kecuali kadar paparan <2 ppm untuk inhalasi. Selain itu, pada Januari 2024, *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH) menetapkan penurunan batas paparan benzena dari 0,5 ppm menjadi 0,02 ppm. Berbagai kebijakan ini mencerminkan meningkatnya kesadaran global atas risiko penggunaan pelarut berbasis minyak bumi, sementara kebijakan nasional masih tertinggal, menunjukkan perlunya percepatan adopsi bahan pelarut yang lebih aman dan berkelanjutan.

Indonesia kini menetapkan target lingkungan yang lebih ambisius. Menurut konferensi pers Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian pada tahun 2022, Indonesia meningkatkan target pengurangan emisinya dari 31,89% menjadi 43,20% pada tahun 2030, dengan sasaran mencapai nol emisi bersih pada tahun 2060 atau bahkan lebih cepat. Komitmen ini mendorong berbagai sektor industri untuk beralih menuju praktik yang lebih berkelanjutan serta mengembangkan alternatif ramah lingkungan. *Levoglucosenone* (LGO) adalah molekul bio yang dihasilkan dari limbah biomassa dapat bisa diubah menjadi pelarut ramah lingkungan seperti *Cyrene*. *Cyrene* berperan sebagai pelarut aprotik dipolar mirip DMF atau NMP (Dobele *et al.*, 2020). Namun, lebih aman

dan termasuk pelarut hijau. Senyawa ini menjadi bahan dasar penting dalam kimia terbarukan untuk menggantikan bahan berbasis fosil dengan memanfaatkan ampas tebu, mendukung proses berkelanjutan dan ekonomi sirkular.

I.1.1 Dampak terhadap Sektor Industri Regional

Cyrene memiliki beragam aplikasi industri sebagai pelarut hijau, termasuk di sektor farmasi, kimia, cat dan pelapis, elektronik, serta polimer. *Cyrene* digunakan di berbagai sektor, seperti farmasi, cat dan pelapis, polimer dan plastik, elektronik, tekstil, otomotif, kosmetik, pertanian, bahan kimia khusus, teknologi karbon, dan lain-lain. Senyawa ini dimanfaatkan sebagai pelarut ramah lingkungan untuk pembentukan daur ulang tekstil, produksi dan daur ulang baterai, pembuatan *polyurethane* (PU), pembersih dan pengelupas cat, sintesis monomer untuk polimerisasi, formulasi *coating*, dan lainnya (Circa Group, 2025; Costes, *et al.*, 2017).

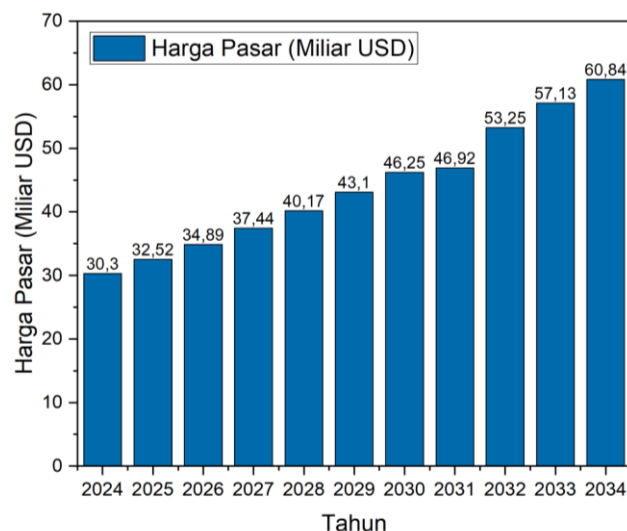
Di Lampung, khususnya Kec. Terusan Nunyai, Kabupaten Lampung Tengah, Lampung, pemanfaatan limbah biomassa seperti ampas tebu sebagai bahan baku produksi *Cyrene* memberikan keuntungan ganda. Pabrik kimia ramah lingkungan dan turunan *Cyrene* mendapatkan pasokan bahan baku (ampas tebu) yang melimpah dan berbiaya rendah, meningkatkan efisiensi produksi sekaligus mendorong keberlanjutan. Petani tebu juga mendapat manfaat dari limbah yang sebelumnya tidak diolah menjadi sumber penghasilan tambahan. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan nilai ekonomi petani tetapi juga mengurangi penumpukan limbah, sehingga berkontribusi pada tata kelola lingkungan yang lebih baik. Kolaborasi antara produsen, petani, dan pabrik-pabrik penghasil ampas tebu mendukung pengembangan ekonomi lokal berbasis sumber daya terbarukan, sekaligus meningkatkan pertumbuhan industri dan kesejahteraan masyarakat.

I.2 Analisa Pasar dan Kapasitas Produksi

I.2.1 Analisa Pasar

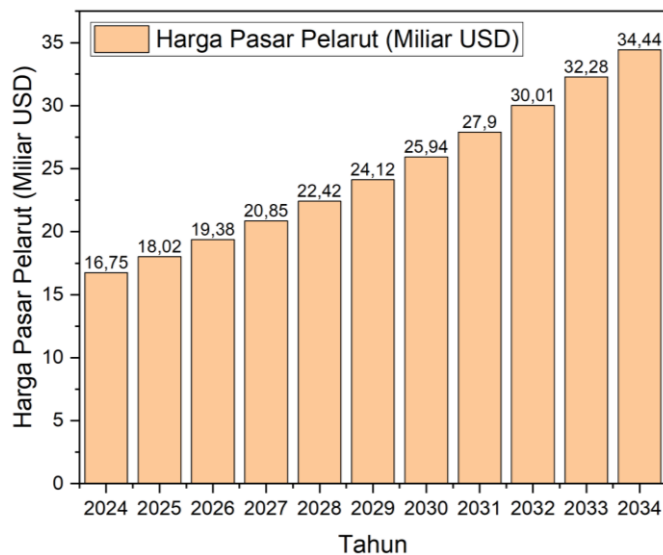
Meskipun kekhawatiran terhadap dampak lingkungan maupun kesehatan akibat penggunaan pelarut berbasis minyak bumi terus meningkat, serta masih terdapat kesenjangan antara regulasi domestik dan internasional, pemanfaatan pelarut jenis ini tetap meluas di berbagai sektor industri berkat efektivitas, ketersediaan yang melimpah, dan biaya yang kompetitif. Dalam industri farmasi, cat dan pelapis, serta bahan kimia, pelarut berbasis minyak bumi memegang peranan penting dalam mendukung proses produksi. Menurut data *Precedence Research*, ukuran pasar pelarut global tercatat sebesar USD

30,30 miliar pada tahun 2024 dan diproyeksikan akan melampaui USD 60,84 miliar pada tahun 2034, dengan tingkat pertumbuhan tahunan gabungan (CAGR) sebesar 7,22% yang dihitung menggunakan rumus $CAGR = [(\frac{\text{nilai akhir}}{\text{nilai awal}})^{1/n} - 1] \times 100\%$, di mana nilai awal adalah 30,30 miliar, nilai akhir 60,84 miliar, dan n adalah selang waktu selama 10 tahun. Proyeksi pertumbuhan ini menggambarkan tren pasar yang positif dan berkelanjutan selama dekade mendatang, seperti yang diilustrasikan pada **Gambar I.1**.



Gambar I.1 Proyeksi Pertumbuhan Pasar Pelarut Global dari Tahun 2024-2034
(Sumber: Precedence Research)

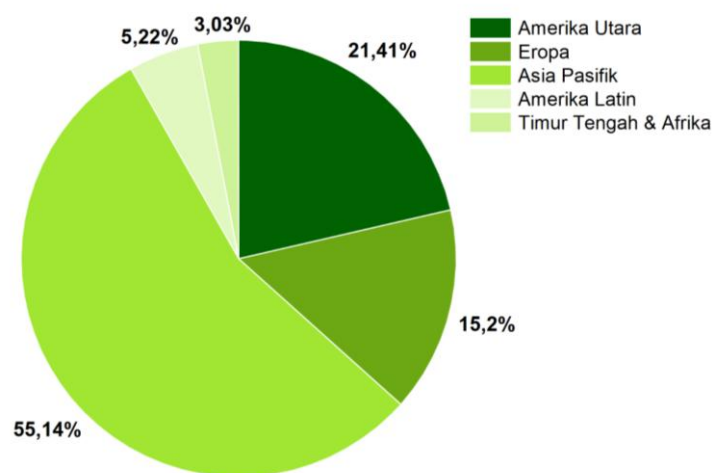
Pada tahun 2024, kategori *Derived Sources* menguasai 86% pasar pelarut. Mayoritas pelarut berasal dari senyawa sintetis dan minyak bumi. Sumber turunan ini diformulasikan untuk memperluas penggunaan pelarut ke bidang-bidang baru. Fraksi hidrokarbon turunan minyak bumi digunakan dalam proses industri dan formulasi komersial untuk mensuspensikan, melarutkan, atau mengangkut komponen lainnya. Perkembangan operasi kilang yang sebagian besar ditujukan untuk konversi bahan baku oktan rendah menjadi bahan bakar oktan tinggi, serta pembatasan dan kekhawatiran lingkungan, telah menghasilkan pertumbuhan yang signifikan dalam keragaman pelarut minyak bumi dalam beberapa tahun terakhir (*Precedence Research*, 2024). Perluasan operasi kilang, seiring dengan meningkatnya kekhawatiran dan peraturan lingkungan, telah secara signifikan memperluas jenis pelarut berbasis minyak bumi dalam beberapa tahun terakhir.



Gambar I.2 Harga Pasar Pelarut Asia Pasifik 2024-2034

(Sumber: *Precedence Research*)

Ukuran pasar pelarut Asia Pasifik tercatat sebesar USD 16,75 miliar pada tahun 2024 dan diproyeksikan mencapai sekitar USD 34,44 miliar pada tahun 2034, dengan tingkat pertumbuhan tahunan majemuk (CAGR) sebesar 7,47% dari tahun 2025 hingga 2034 (*Precedence Research*, 2024) dan mencerminkan tren positif di pasar pelarut Asia Pasifik yang didorong oleh meningkatnya permintaan industri dan inovasi produk pelarut di berbagai sektor.



Gambar I.3 Pangsa Pasar Pelarut berdasarkan Wilayah pada Tahun 2024

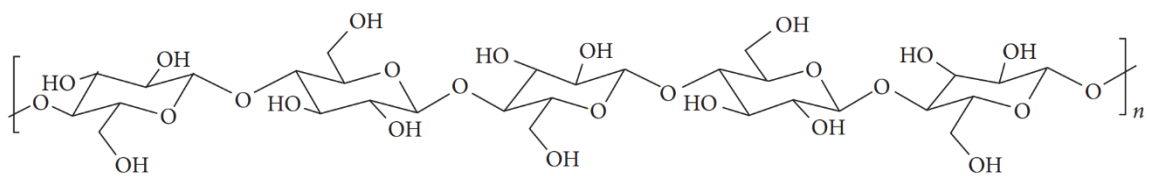
(Sumber: *Precedence Research*)

Kawasan Asia Pasifik, termasuk negara-negara seperti Indonesia, Tiongkok, dan India, memimpin pasar pelarut global dengan kontribusi pendapatan diatas 55,14% pada

tahun 2024, melampaui Eropa dan Amerika Utara. Pertumbuhan ini didorong oleh pesatnya urbanisasi dan industrialisasi yang menstimulasi ekspansi industri cat, pelapis, otomotif, serta polimer, sehingga permintaan pelarut terus meningkat. Selain itu, kecenderungan menuju solusi berkelanjutan terlihat jelas melalui meningkatnya penggunaan pelarut hijau dan bio berbasis biomassa, serta pemanfaatan sumber daya gas dan minyak yang signifikan di kawasan ini, khususnya Tiongkok yang memiliki cadangan gas dan minyak terbesar di Asia Pasifik. Momentum ini semakin diperkuat oleh pertumbuhan industri proyek infrastruktur yang secara keseluruhan akan mendorong transformasi industri pelarut menuju alternatif ramah lingkungan di masa depan (*Precedence Research*, 2024).

I.2.2 Ketersediaan Bahan Baku Ampas Tebu

Selulosa merupakan bahan baku utama dalam produksi *Cyrene* sebelum diolah menjadi *Cyrene*, senyawa ini penting yang dihasilkan melalui proses biokonversi (Wang *et al.*, 2023). Untuk meningkatkan aspek keberlanjutan dan biodegradabilitas produk, sumber selulosa yang digunakan pada penelitian ini berasal dari biomassa limbah. Di antara berbagai jenis biomassa, ampas tebu dipilih sebagai bahan baku utama karena ketersediaannya yang melimpah serta potensi pemanfaatannya yang tinggi di Indonesia, salah satu dari sepuluh negara penghasil tebu terbesar di dunia (CNBC, 2025). Pada tahun 2024 berdasarkan **Tabel I.2**, produksi tebu nasional mencapai 34.394.842 juta ton dengan total luas area sebesar 749.957 hektar. Dengan kapasitas tersebut, pabrik-pabrik gula di Indonesia berpotensi menghasilkan 12.038.194 juta ton ampas tebu setiap tahun (GAPGINDO, 2024).



Gambar I.4 Struktur Kimia Molekul Selulosa

Sumber: (Melesse *et al.*, 2022)

Ampas tebu merupakan sisa berserat yang tertinggal setelah proses ekstraksi gula, dan secara tradisional dimanfaatkan sebagai pupuk untuk memperbaiki struktur fisik tanah. Namun, di balik fungsi konvensional, ampas tebu menyimpan potensi besar sebagai sumber selulosa berkelanjutan untuk produksi *Cyrene*. Komposisinya yang kaya,

terdiri dari sekitar 40-50% selulosa, 25-30% hemiselulosa, dan 20-25% lignin (Pérez-Contreras *et al.*, 2025), menjadikan bahan ini cukup kompleks dan memerlukan tahap *pretreatment* khusus sebelum dapat diproses lebih lanjut sebagai bahan baku industri biokimia.

Tabel I.1 Struktur Selulosa, Hemiselulosa, dan Lignin

Parameter	Selulosa	Hemiselulosa	Lignin
Pengaturan molekul	Teratur, kristalin, dan amorf	Struktur kristal bercabang, rantai tunggal dan heteropolisakarida amorf	Polimer aromatik amorf, bercabang tinggi, heterogen
Derajat polimerisasi	100-10.000, residu glukosa	50-200, molekul <i>Saccharide</i>	4.000, <i>Coumaryl alcohol</i> , <i>Coniferyl alcohol</i> , <i>Sinapyl alcohol</i>
Sifat termal	Dekomposisi termal 300-375°C	Dekomposisi termal 243°C dan 332°C	Termoplastik

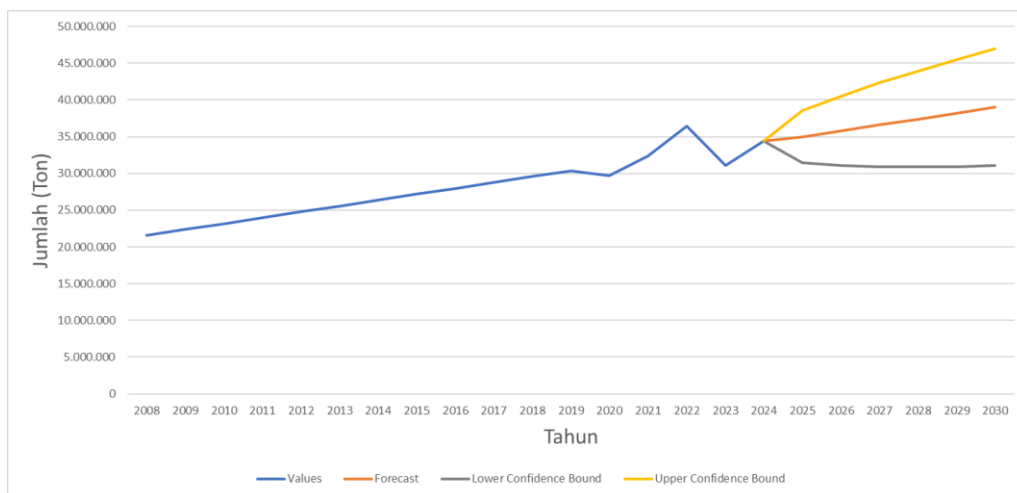
Sumber: (Nasution *et al.*, 2022)

Selain lignin, bagian lain dari limbah ampas tebu yang dapat menjadi penghalang struktural dalam proses ekstraksi selulosa adalah lapisan lilin (*wax*) (Elfaleh *et al.*, 2023). *Wax* terdiri dari aldehida lemak, asam lemak, ester, dan hidrokarbon yang menyebabkan permukaan menjadi kurang basah serta mengurangi aksesibilitas reaksi pirolisis (Alam *et al.*, 2024).

Tabel I.2 Produksi Tebu di Indonesia Tahun 2008-2024

Tahun	Jumlah (Ton)	Tahun	Jumlah (Ton)
2008	21.564.666	2017	28.781.640
2009	22.366.552	2018	29.583.526
2010	23.168.438	2019	30.385.412
2011	23.970.324	2020	29.737.781
2012	24.772.210	2021	32.340.604
2013	25.574.096	2022	36.436.781
2014	26.375.982	2023	31.045.342
2015	27.177.868	2024	34.394.842
2016	27.979.754		

Sumber: (GAPGINDO, 2024)



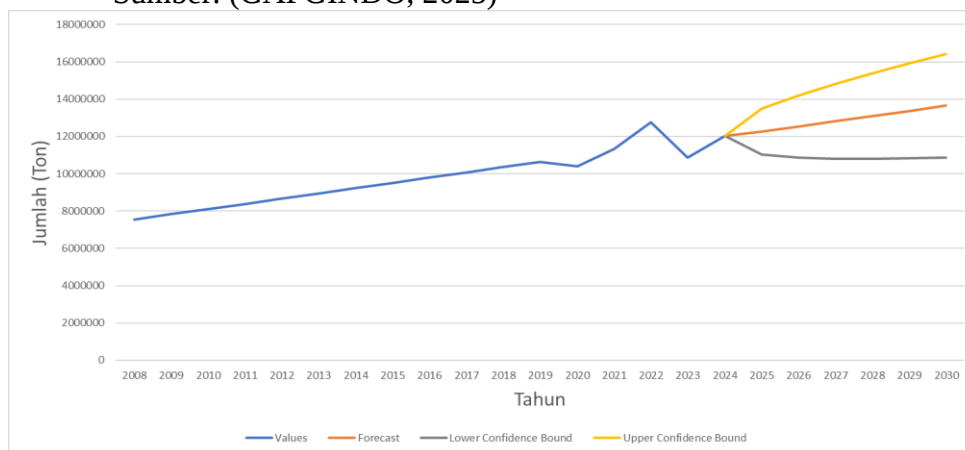
Gambar I.5 Hasil *Forecast* Produksi Tebu di Indonesia pada Tahun 2025-2030

Setiap ton tebu menghasilkan limbah ampas tebu sebesar 30-40% (Singh *et al.*, 2021). Dalam perhitungan jumlah limbah ampas tebu, diasumsikan bahwa setiap ton tebu menghasilkan 35% limbah ampas tebu.

Tabel I.3 Data Produksi Limbah Ampas Tebu di Indonesia Tahun 2008-2024

Tahun	Jumlah (Ton)	Tahun	Jumlah (Ton)
2008	7.547.633	2017	10.073.574
2009	7.828.293	2018	10.354.234
2010	8.108.953	2019	10.634.894
2011	8.389.613	2020	10.408.223
2012	8.670.273	2021	11.319.211
2013	8.950.933	2022	12.752.873
2014	9.231.593	2023	10.865.869
2015	9.512.253	2024	12.038.194
2016	9.792.913		

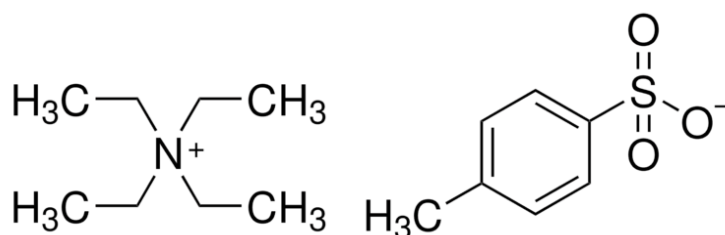
Sumber: (GAPGINDO, 2025)



Gambar I.6 Produksi Limbah Ampas Tebu di Indonesia Tahun 2025-2030 dengan Analisa *Forecast*

I.2.3 *Tetraethylammonium p-Toluenesulfonate (TEAPTS) dan p-Toluenesulfonic Acid Monohydrate (pTSA)*

Untuk memproduksi *Cyrene*, digunakan *Deep Eutectic Solvent (DES)* sebagai katalis dalam proses dehidrasi dan depolimerisasi selulosa (Saragai *et al.*, 2021). Kombinasi TEAPTS-pTSA dipilih karena kestabilan termalnya yang tinggi, yang diperoleh dari ikatan hidrogen kuat antara TEAPTS sebagai penerima ikatan hidrogen (*Hydrogen Bond Acceptor/HBA*) dan pTSA sebagai pemberi ikatan hidrogen (*Hydrogen Bond Donor/HBD*) (Canela-Xandri *et al.*, 2025). Katalis TEAPTS-pTSA sangat efektif untuk pirolisis selulosa karena dapat menurunkan suhu reaksi $>100^{\circ}\text{C}$. Selain itu, katalis ini murah dan tidak beracun karena disintesis dari senyawa yang tersedia secara alami (Saragai *et al.*, 2021).

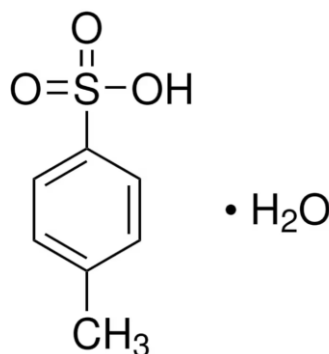


Gambar I.7 Struktur TEAPTS

Tabel I.4 Spesifikasi TEAPTS

Karakteristik	Keterangan
Rumus Molekul	$\text{C}_{15}\text{H}_{27}\text{NO}_3\text{S}$
Berat Molekul	301,44 g/mol
Titik leleh	$110\text{-}114^{\circ}\text{C}$
Densitas <i>Bulk</i>	$0,479\text{ g/cm}^3$
Warna	Kristal Putih

Sumber: (Sigma-Aldrich, 2024)



Gambar I.8 Struktur pTSA

Tabel I.5 Spesifikasi pTSA

Karakteristik	Keterangan
Rumus Molekul	C ₇ H ₈ O ₃ S.H ₂ O
Berat Molekul	190,22 g/mol
Titik leleh	140°C
Warna	Kristal Putih

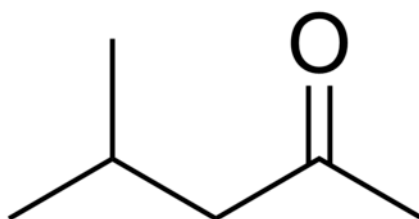
Sumber: (Sigma-Aldrich, 2024)

I.2.4 *Palladium Zirconium Dioxide (Pd/ZrO₂)*

Pd/ZrO₂ berfungsi sebagai katalisator dalam proses hidrogenasi. Katalis ini memanfaatkan aktivitas katalitik palladium yang tinggi dan didukung oleh stabilitas serta keasaman zirkonium dioksida. Selama proses, *palladium* bertindak sebagai logam aktif yang memfasilitasi aktivasi molekul hidrogen, sementara *zirconia* menyediakan stabilitas termal dan meningkatkan dispersinya sehingga partikel *palladium* terdispersi dengan lebih baik. Pd/ZrO₂ penting karena kemampuannya bekerja di kondisi ringan serta memiliki selektivitas yang baik untuk menghasilkan produk yang diinginkan (Mazario, *et.al.*, 2019).

I.2.5 *Methyl Isobutyl Ketone (MIBK)*

MIBK digunakan sebagai pelarut dalam proses pemisahan *Bio-oil* dari fase air karena memiliki kemampuan yang baik dalam melarutkan berbagai senyawa organik penyusun *Bio-oil* yang bersifat polar hingga semi-polar. Penggunaan MIBK menghasilkan efisiensi ekstraksi yang tinggi akibat selektivitasnya terhadap komponen *Bio-oil* serta kelarutannya yang relatif rendah dalam air (Qi *et al.*, 2020). Selain itu, MIBK memiliki karakteristik yang memungkinkan pelarut ini dipulihkan dan didaur ulang dengan mudah melalui proses pemisahan lanjutan, sehingga dapat mengurangi konsumsi pelarut dan meningkatkan efisiensi ekonomi proses. Oleh karena itu, MIBK dipilih sebagai pelarut ekstraksi yang efektif dan berkelanjutan untuk pemisahan *Bio-oil* dari air. Spesifikasi MIBK yang digunakan dalam proses ini disajikan pada **Tabel I.6**.

**Gambar I.9** Struktur MIBK

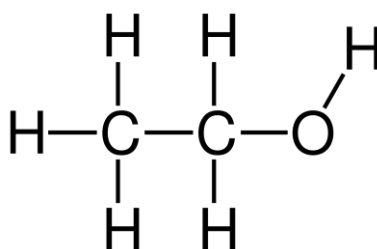
Tabel I.6 Spesifikasi Etanol

Karakteristik	Keterangan
Rumus Molekul	$C_6H_{12}O$
Berat Molekul	100,16 g/mol
Titik Didih	117°C
Titik leleh	-85°C
Densitas	0,796 g/cm ³
Warna	Cairan Tidak Berwarna

Sumber: (Sigma-Aldrich, 2024)

I.2.6 Etanol

Etanol digunakan dalam proses *Pre-treatment* untuk menghilangkan lapisan lilin pada ampas tebu, yang dikenal dengan proses *Dewaxing*. Penggunaan etanol sangat efektif karena kemampuannya untuk melarutkan dan mengekstraksi lilin tanpa merusak struktur fisik ampas tebu. Selain itu, etanol memiliki tingkat toksisitas yang relatif rendah, mudah untuk didaur ulang, dan bersifat terbarukan, sehingga sangat sesuai dengan prinsip *green chemistry* (Paulraj *et al.*, 2021). Spesifikasi etanol untuk keperluan ini dapat dilihat pada **Tabel I.6**.

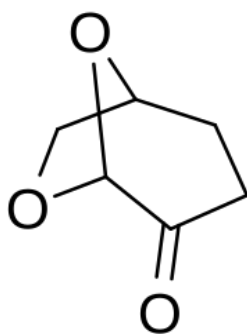
**Gambar I.10** Struktur Etanol**Tabel I.7** Spesifikasi Etanol

Karakteristik	Keterangan
Rumus Molekul	$C_2H_6O_4$
Berat Molekul	46,07 g/mol
Titik Didih	78°C
Titik leleh	-114°C
Densitas	0,789 g/cm ³
Warna	Cairan Tidak Berwarna

Sumber: (Sigma-Aldrich, 2024)

I.2.7 Cyrene

Pabrik yang didesain memiliki produk utama berupa *Cyrene* yang dikemas dalam bentuk drum dengan kapasitas 200 L hingga tangki truk berukuran 28.000 L. *Cyrene* adalah pelarut dipolar aprotik (pelarut yang molekulnya polar tetapi tidak memiliki atom hidrogen yang bisa dilepaskan sebagai proton) yang dikenal memiliki kecocokan tinggi dengan berbagai reaksi dan menjadi alternatif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan pelarut yang lebih berbahaya. Karena polaritasnya yang tinggi dan kemampuannya beradaptasi, pelarut ini cocok digunakan dalam kimia organik, biokatalisis, dan pemrosesan material (Podapangi *et al.*, 2023).



Gambar I.11 Struktur *Cyrene*

Tabel I.8 Spesifikasi *Cyrene*

Karakteristik	Keterangan
Rumus Molekul	C ₆ H ₆ O ₃
Berat Molekul	128.127 g/mol
Titik Didih	227°C
Densitas	1,247g/cm ³
Warna	Kuning
Kelarutan	Dapat bercampur

SumberL (Sigma-Aldrich, 2024)

I.2.8 Produk Samping

Proses pirolisis biomassa menghasilkan fraksi cair yang dikenal sebagai *Bio-oil*, yaitu campuran kompleks senyawa organik seperti fenol, aldehida, keton, dan hidrokarbon. *Bio-oil* memiliki potensi besar sebagai sumber energi terbarukan, baik digunakan langsung sebagai bahan bakar maupun dicampurkan dengan bahan bakar fosil untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas pembakaran (Lachos-Perez *et al.*, 2023).



Gambar I.12 *Bio-oil* Ampas Tebu

(Varma & Mondal, 2017)

Selain *Bio-oil*, proses pirolisis juga menghasilkan produk penting lainnya, yaitu padatan (*biochar*). *Biochar* dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar padat, diolah menjadi *biochar* aktif. Selain itu, *biochar* berperan sebagai material multifungsi yang efektif untuk adsorpsi zat pewarna, pengolahan air limbah, serta peningkatan kesuburan dan kualitas tanah. Produk samping ini juga memiliki nilai ekonomi karena dapat dijual atau didistribusikan ke sektor pertanian, industri pengolahan limbah, dan energi terbarukan.

I.2.9 Kapasitas Produksi

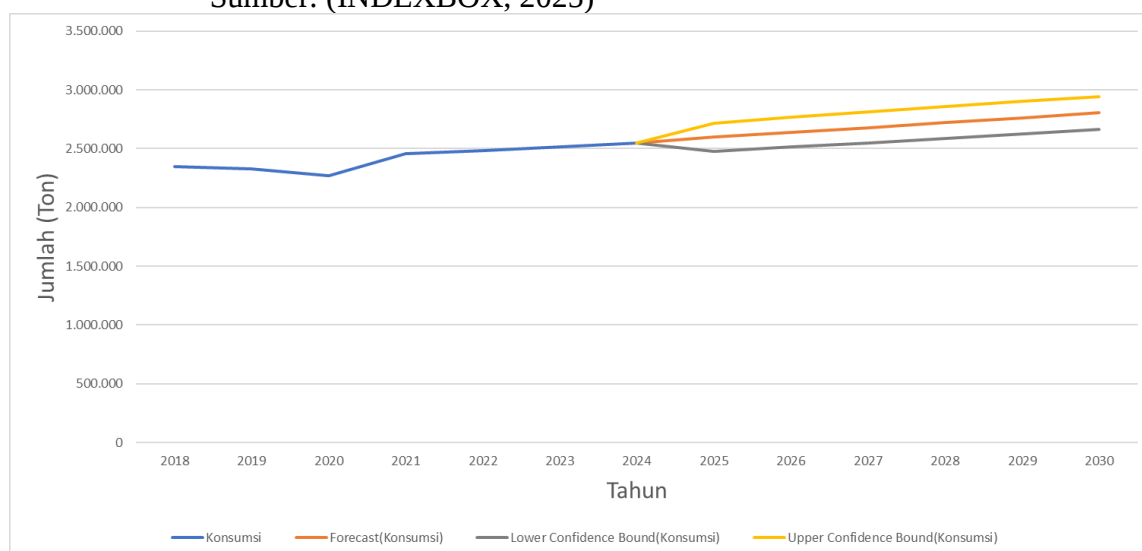
Dalam perancangan pabrik *Cyrene* ini, tentunya diperlukan analisis pasar untuk melihat seberapa besar kebutuhan produk yang dibutuhkan pasar nantinya. Dalam analisis pasar dibutuhkan beberapa data pendukung seperti konsumsi, produksi, impor, dan ekspor. Data konsumsi *Cyrene* di Indonesia dilakukan dengan mengestimasi produk *Cyrene* akan digunakan sebagai bahan baku alternatif pengganti pelarut minyak bumi seperti benzena.

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS, 2025), total konsumsi benzena di Indonesia hingga tahun 2024 telah mencapai 2.545.000 ton, dengan tren peningkatan yang konsisten setiap tahunnya. Untuk memproyeksikan kebutuhan benzena hingga tahun 2030, dilakukan analisis *forecasting* menggunakan aplikasi *Microsoft Excel*. Selain benzena, dimetilformamida (DMF, C_3H_7NO) juga berperan penting sebagai pelarut serbaguna dalam berbagai sektor industri, terutama pada proses ekstraksi senyawa dan formulasi produk farmasi. Sebagai solusi yang lebih berkelanjutan, pengembangan *Cyrene* dari ampas tebu muncul sebagai alternatif pelarut ramah lingkungan yang berpotensi menggantikan pelarut berbahaya di masa depan.

Tabel I.9 Data Konsumsi Benzena di Indonesia Tahun 2018-2030

Tahun	Jumlah (Ton)	Tahun	Jumlah (Ton)
2018	2.350.000	2025	2.575.000
2019	2.330.000	2026	2.605.000
2020	2.270.000	2027	2.635.000
2021	2.455.000	2028	2.665.000
2022	2.485.000	2029	2.695.000
2023	2.515.000	2030	2.725.000
2024	2.545.000		

Sumber: (INDEXBOX, 2025)

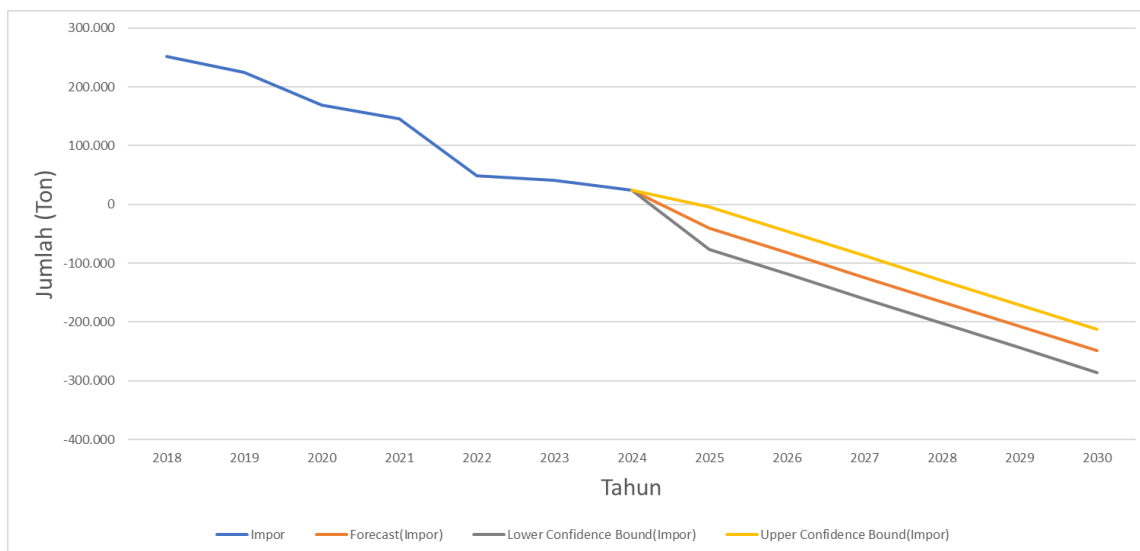
**Gambar I.13** Hasil Analisa *Forecast* Konsumsi Benzena di Indonesia

Hingga saat ini, belum terdapat pabrik yang memproduksi *Cyrene* di Indonesia. Oleh karena itu, diharapkan pengembangan fasilitas produksi *Cyrene* dapat dilakukan di masa mendatang. Berdasarkan data dari BPS pada tahun 2024, kebutuhan impor benzena Indonesia mencapai 13.744 ton pada tahun 2025. Untuk memprediksi pergerakan jumlah impor pada tahun 2030, dilakukanlah analisa menggunakan metode *Forecast* dengan aplikasi excel.

Tabel I.10 Data Impor Benzena di Indonesia Tahun 2018-2030

Tahun	Jumlah (Ton)	Tahun	Jumlah (Ton)
2018	251.767	2025	13.744
2019	224.458	2026	0
2020	168.587	2027	0
2021	146.283	2028	0
2022	48.664	2029	0
2023	41.421	2030	0
2024	23.938		

Sumber: (BPS, 2025)

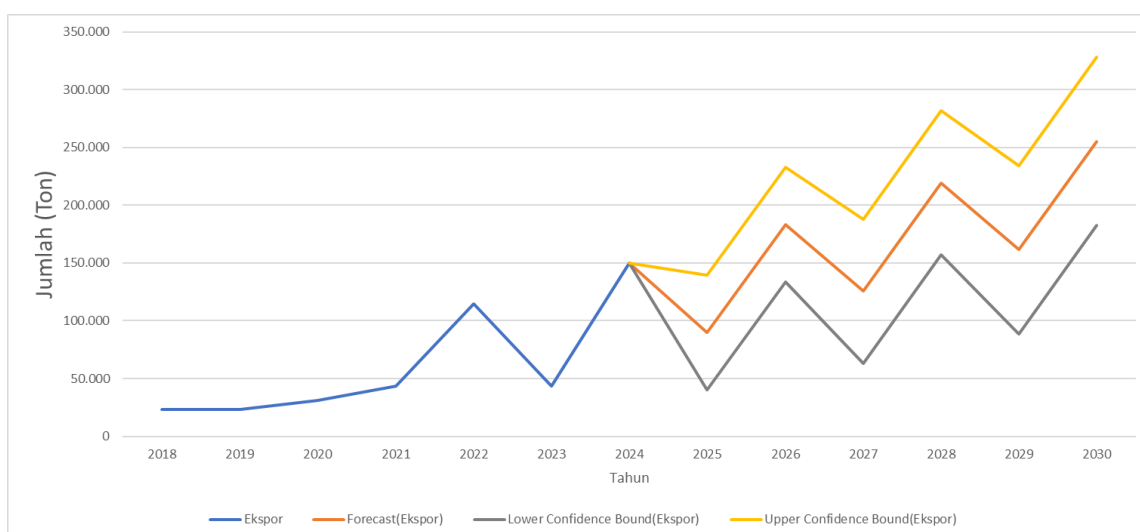


Gambar I.14 Hasil Analisa *Forecast* Impor Benzena di Indonesia

Tabel I.11 Data Ekspor Benzena di Indonesia Tahun 2018-2030

Tahun	Jumlah (Ton)	Tahun	Jumlah (Ton)
2018	23.481	2025	58.809
2019	23.384	2026	114.106
2020	31.007	2027	125.883
2021	43.658	2028	137.661
2022	114.850	2029	149.438
2023	43.776	2030	161.216
2024	149.887		

Sumber: (BPS, 2025)



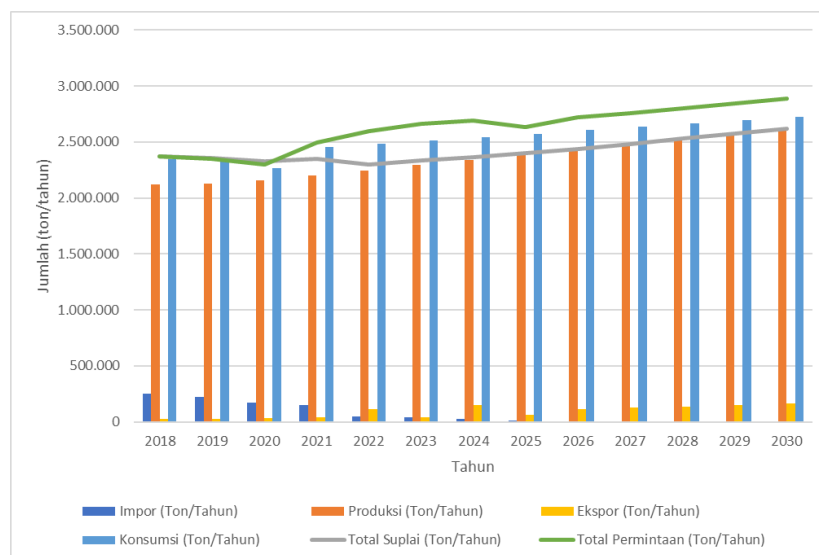
Gambar I.15 Hasil Analisa *Forecast* Ekspor Benzena di Indonesia

Berdasarkan data impor, ekspor, konsumsi, dan produksi benzena di Indonesia, dapat dilakukan analisis kapasitas produksi sebagai dasar perencanaan pembangunan pabrik *Cyrene* yang direncanakan beroperasi pada tahun 2030. Data pada **Tabel I.11**

menunjukkan perkembangan pasar benzena selama periode 2018-2030 dari sisi impor, ekspor, dan konsumsi domestik. Impor benzena mengalami tren penurunan yang signifikan hingga mencapai nol pada periode 2026-2030, sementara konsumsi domestik dan ekspor menunjukkan kecenderungan meningkat. Meskipun produksi dalam negeri terus mengalami peningkatan, total suplai benzena masih lebih rendah dibandingkan total permintaan. Pada tahun 2030 tercatat total permintaan sebesar 2.886.216 ton/tahun dan total suplai sebesar 2.622.577 ton/tahun, sehingga terdapat kekosongan pasar sebesar 263.639 ton/tahun. Kondisi ini menunjukkan adanya peluang pengembangan kapasitas produksi baru, termasuk pembangunan pabrik *Cyrene*, yang diharapkan dapat mengurangi defisit pasokan serta mendukung peralihan menuju pelarut yang lebih ramah lingkungan sebagai alternatif benzena.

$$\text{Total Permintaan} = \text{Ekspor} + \text{Konsumsi} \quad (1)$$

$$\text{Kapasitas Produk} = \text{Total demand} - \text{Total supply} \quad (2)$$



Gambar I.16 Analisa Market Benzena di Indonesia

Gambar I.16 memperlihatkan bahwa meskipun produksi Benzena domestik diproyeksikan terus meningkat hingga 2030, lajunya belum mampu mengimbangi pertumbuhan pesat total permintaan. Hal ini menciptakan kesenjangan (gap) yang semakin melebar antara suplai dan permintaan, mengindikasikan terjadinya defisit pasokan yang signifikan dan mendesakny kebutuhan akan peningkatan kapasitas produksi baru.

Tabel I.12 Suplai dan Kebutuhan Domestik Benzena di Indonesia

Tahun	Suplai Dosmetik			Kebutuhan Dosmetik		
	Impor (Ton/Tahun)	Produksi (Ton/Tahun)	Total Suplai (Ton/Tahun)	Ekspor (Ton/Tahun)	Konsumsi (Ton/Tahun)	Total Permintaan (Ton/Tahun)
2018	251.767	2.120.000	2.371.767	23.481	2.350.000	2.373.481
2019	224.458	2.130.000	2.354.458	23.384	2.330.000	2.353.384
2020	168.587	2.160.000	2.328.587	31.007	2.270.000	2.301.007
2021	146.283	2.200.549	2.346.832	43.658	2.455.000	2.498.658
2022	48.664	2.247.441	2.296.105	114.850	2.485.000	2.599.850
2023	41.421	2.294.333	2.335.754	43.776	2.515.000	2.664.887
2024	23.938	2.341.225	2.365.163	149.887	2.545.000	2.694.887
2025	13.744	2.388.117	2.401.861	58.809	2.575.000	2.633.809
2026	0	2.435.009	2.435.009	114.106	2.605.000	2.719.106
2027	0	2.481.901	2.481.901	125.883	2.635.000	2.760.883
2028	0	2.528.793	2.528.793	137.661	2.665.000	2.802.661
2029	0	2.575.685	2.575.685	149.438	2.695.000	2.844.438
2030	0	2.622.577	2.622.577	161.216	2.725.000	2.886.216

Berdasarkan **Tabel I.12** dapat mengetahui kekosongan pasar untuk memenuhi kebutuhan yang ada dengan menggunakan perhitungan dari persamaan (2) dan hasil data *forecast* dibawah ini.

$$\begin{aligned}
 \text{Perhitungan kapasitas produksi} &= \text{total demand} - \text{total supply} \\
 &= 2.886.216 - 2.622.577 \\
 &= 263.639 \text{ Ton/Tahun}
 \end{aligned}$$

Kapasitas produksi benzena di Indonesia pada tahun 2030 berdasarkan **Tabel I.12** diperkirakan mencapai 263.639 ton per tahun. Akan tetapi, sejalan dengan komitmen Indonesia untuk menurunkan emisi gas rumah kaca, pemerintah telah meningkatkan target pengurangan emisi dari semula 31,89% menjadi 43,20% pada tahun 2030, dengan tujuan mencapai nol emisi bersih pada tahun 2060 atau bahkan lebih cepat (Kementerian ESDM, 2024). Artinya, pada tahun 2030 Indonesia menargetkan tambahan penurunan emisi sebesar 11,31% dari *baseline* yang ada. Dalam studi ini, sekitar 29.817 ton benzena per tahun ($11,31\% \times 263.639 \text{ ton}$) berpotensi dialihkan dari penggunaan pelarut berbasis fosil menuju pelarut hijau. Selain itu, menurut *World Resources Institute* (2025), sektor industri kimia menyumbang sekitar 34% dari total emisi sektor industri. Berdasarkan proporsi ini, studi ini memperkirakan sekitar 10.138 ton benzena per tahun ($34\% \times 29.817 \text{ ton}$) sebagai potensi pengurangan emisi yang dapat dicapai melalui substitusi pelarut berbasis benzena dengan pelarut ramah lingkungan.

Sebagai bagian dari strategi dekarbonisasi industri, diarahkan agar 10.138 ton per tahun dari kapasitas produksi digunakan sebagai bahan baku alternatif yang lebih ramah lingkungan, seperti *Cyrene*. *Cyrene* adalah *bio solvent* yang dapat menggantikan pelarut turunan minyak bumi seperti benzena dan DMF, sehingga emisi karbon industri kimia dapat ditekan secara signifikan sesuai target nasional dan tren global berkelanjutan. Inovasi ini dapat mendukung kebijakan transisi energi dan memperkuat daya saing produk industri kimia Indonesia di pasar internasional.

Tabel I.13 Data Pabrik Benzena di Indonesia

No	Nama Pabrik	Lokasi	Kapasitas Ton/Tahun	Ref
1.	PT. Tuban Petrochemical	Tuban, Jawa Timur	500.000	Liputan6, 2021
2.	PT. Chandra Asri	Ciwandan, Cilegon	400.000	www.nexi.go.jp
3.	Pertamina Unit IV	Cilacap, Jawa Tengah	300.000	www.kpipertamina.com
4.	PT. Humpuss Aromatik	Aceh Darussalam	260.000	www.humpussa-aromatik.com

Produksi benzena di Indonesia didominasi pabrik besar seperti PT Tuban Petrochemical, PT Chandra Asri, dan lainnya dengan kapasitas kumulatif ratusan ribu ton per tahun, berpotensi digantikan oleh *Cyrene* sebagai pelarut ramah lingkungan yang bersumber dari

biomassa ampas tebu, pelarut ini unggul dengan toksisitas rendah dan mendukung aplikasi kimia industri menuju masa depan berkelanjutan.

I.3 Kebaruan Produk/Proses

Keunggulan produk yang dihasilkan ditinjau dari bahan baku dan proses yang digunakan. Pembuatan *Cyrene* dilakukan melalui jalur alternatif menggunakan bahan baku biomassa lignoselulosa, seperti ampas tebu, yang merupakan limbah pertanian dengan ketersediaan melimpah dan bersifat terbarukan. Proses produksi *Cyrene* dilakukan melalui pirolisis terkatalisis dengan bantuan pelarut ramah lingkungan berupa *Deep Eutectic Solvent* (DES), seperti TEAPTS-pTSA (Saragai *et al.*, 2021), yang memiliki kemampuan menstabilkan produk antara *levoglucosan* (LGA) sehingga dapat meningkatkan hasil produk akhir *Cyrene*. Metode ini menawarkan pendekatan yang lebih berkelanjutan dibandingkan proses tradisional yang menggunakan pelarut organik berbahaya atau asam mineral kuat, sehingga dapat mengurangi dampak lingkungan serta konsumsi energi selama proses berlangsung.

Dari sisi bahan baku, penggunaan ampas tebu sebagai sumber selulosa memberikan nilai tambah karena mengurangi limbah samping industri gula dan meningkatkan nilai ekonomi biomassa yang sebelumnya kurang termanfaatkan. Selain bersifat dapat diperbaharui, pemanfaatan ampas tebu mendukung prinsip ekonomi sirkular dan pengembangan industri hijau yang berkelanjutan. Penggunaan biomassa terbarukan ini juga sejalan dengan pencapaian SDG 9, 12, dan 13, melalui penguatan industri inovatif dan infrastruktur berkelanjutan (SDG 9), pengurangan penggunaan sumber daya primer dan penerapan pola produksi yang lebih bertanggung jawab (SDG 12), serta penurunan emisi gas rumah kaca melalui substitusi bahan baku fosil (SDG 13). Selain itu, penggunaan DES sebagai katalis cair juga menjadi inovasi penting karena pelarut ini bersifat *biodegradable*, tidak beracun, dan dapat digunakan kembali hingga beberapa kali siklus tanpa kehilangan aktivitas yang signifikan. Hal ini menjadikan proses produksi lebih efisien dan ramah lingkungan dibandingkan penggunaan katalis konvensional.

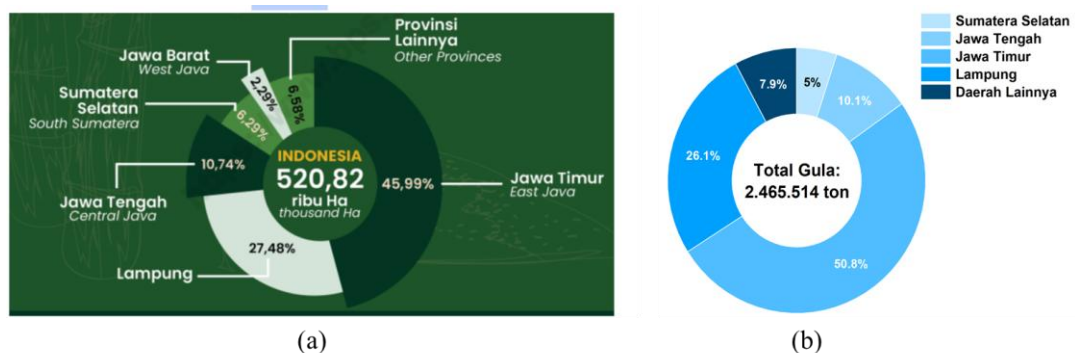
Dari sisi produk, *Cyrene* dapat digunakan sebagai pelarut ramah lingkungan pengganti DMP (*Dimethyl phthalate*), DMF (*Dimetilformamida*), dan benzena. Selain itu, *Cyrene* juga berpotensi sebagai bahan dasar dalam sintesis farmasi, kosmetik, dan bahan kimia halus karena sifat kimianya yang reaktif dan selektif. Dengan demikian, produksi

Cyrene tidak hanya menawarkan solusi terhadap pengurangan limbah biomassa tetapi juga membuka peluang pasar baru dalam pengembangan bahan kimia berkelanjutan.

Kebaruan dari proses ini terletak pada penggunaan sistem katalis DES dalam pirolisis biomassa, yang mampu meningkatkan efisiensi konversi selulosa menjadi *Cyrene* tanpa memerlukan kondisi operasi ekstrim seperti suhu tinggi atau tekanan tinggi. Dengan waktu sintesis yang relatif singkat dan sistem yang dapat didaur ulang, proses ini menjadi alternatif yang menjanjikan bagi pengembangan teknologi hijau di masa depan. Produk *Cyrene* yang dihasilkan juga memenuhi kriteria keberlanjutan baik dari segi bahan baku, proses, maupun dampak lingkungan, sehingga layak dikembangkan sebagai produk unggulan berbasis biomassa terbaru untuk mendukung industri kimia ramah lingkungan.

I.4 Pemilihan Lokasi

Pabrik direncanakan akan didirikan di Kabupaten Lampung Tengah, yang dikenal sebagai salah satu sentra produksi gula terbesar kedua di Indonesia setelah Jawa Timur. Pada tahun 2024, produksi gula di wilayah Lampung mencapai 644.745 ton, jauh melampaui total produksi daerah lain yang hanya mencapai 250.073 ton pada daerah Jawa Tengah (BPS, 2025). Selain ketersediaan bahan baku yang melimpah, Lampung Tengah juga memiliki keunggulan strategis dalam hal pasokan utilitas, ketersediaan lahan, akses distribusi produk, serta infrastruktur pendukung yang memadai, sehingga menjadi lokasi ideal untuk pengembangan pabrik ini.



Gambar I.17 (a) Provinsi dengan Luas Areal Tebu dan (b) Provinsi Penghasil Gula Terbesar di Indonesia Tahun 2024

Sumber: (BPS, 2025)

I.4.1 Rencana Pasokan dan Ketersediaan Lahan

Ampas tebu akan dipasok terutama dari PT. Gunung Madu Plantation, salah satu pabrik gula terbesar di Lampung yang pada tahun 2024 menghasilkan 2.205.162 ton gula dengan luas areal perkebunan tebu mencapai 29.142 hektar (GAPGINDO, 2024). Sementara itu, bahan baku tambahan akan diperoleh dari berbagai wilayah lain di Kabupaten Lampung Tengah. Daerah ini juga telah didukung oleh infrastruktur yang memadai, termasuk akses ke jalan utama sebagaimana terlihat pada **Gambar 1.18** serta kedekatan dengan pelabuhan yang memudahkan distribusi bahan baku maupun produk akhir. Untuk mendukung kelancaran logistik, Kec. Terusan Nunyai, Kabupaten Lampung Tengah dipilih sebagai lokasi pembangunan pabrik karena posisinya yang strategis dan berdekatan dengan aliran danau.



Gambar I.18 Kecamatan Terusan Nunyai, Kabupaten Lampung Tengah

Kecamatan Terusan Nunyai Lampung Tengah menjadi lokasi strategis untuk pabrik karena berada di kawasan industri dengan bentang alam yang mendukung sirkulasi udara optimal, penting untuk efisiensi operasional. Kontur lahan yang terbuka memungkinkan ventilasi alami sehingga mengurangi kebutuhan energi pendinginan dan meningkatkan efisiensi. Medan yang datar dan luas mempermudah persiapan lahan tanpa pengerjaan berat. Dengan kepadatan penduduk yang relatif rendah sekitar 59.053 jiwa dan harga tanah yang terjangkau antara Rp100.000 hingga Rp150.000 per meter persegi, Terusan Nunyai menjadi pilihan ekonomis dan efisien untuk pembangunan pabrik (BPS, 2025).

Pada tahun 2024, Kabupaten Lampung Tengah memiliki populasi sekitar 1,52 juta jiwa dengan tingkat partisipasi angkatan kerja mencapai 73,32%. Mayoritas penduduk, sekitar 69,33%, berada dalam usia produktif (15-64 tahun). Gaji minimum di wilayah ini

diperkirakan sebesar Rp2.716.497,-, yang menjaga keseimbangan antara biaya tenaga kerja yang kompetitif dan upah yang adil bagi pekerja (BPS, 2025).

Beberapa industri kimia dan pertanian di Lampung Tengah memerlukan pelarut untuk menunjang proses produksi. Lokasi yang dekat dengan sumber bahan pertanian mendukung kapasitas produksi *Cyrene* yang signifikan, bahan penting dalam kimia hijau. *Cyrene* digunakan dalam formulasi pestisida, herbisida, dan pupuk guna melarutkan bahan aktif sehingga aplikasi menjadi lebih merata dan efektif. Produk ini nantinya akan didistribusikan ke perusahaan seperti PT. Agrochemical Nusantara, dan lainnya.