

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri manufaktur di Indonesia terus menunjukkan dinamika yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Namun, pertumbuhan tersebut masih menyisakan tantangan struktural yang belum terselesaikan, yakni tingginya ketergantungan sektor industri terhadap bahan baku impor. Penelitian yang menggunakan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) dan Bank Indonesia menunjukkan bahwa ketergantungan yang berlebihan pada impor dapat melemahkan neraca perdagangan dan berdampak negatif terhadap pertumbuhan ekonomi nasional dalam jangka panjang (Faris Fizabillah et al., 2024). Kondisi ini semakin diperparah oleh fluktuasi nilai tukar rupiah yang secara langsung mempengaruhi harga bahan baku impor dan mendorong kenaikan biaya produksi, sehingga mengurangi daya saing industri dalam negeri.

Salah satu subsektor yang sangat terdampak oleh kondisi tersebut adalah industri petrokimia. Ketergantungan terhadap impor masih menjadi tantangan utama industri kimia nasional, di mana kapasitas produksi domestik belum mencukupi kebutuhan dalam negeri sebagai contoh, untuk bahan baku seperti *polyethylene* (PE) dan *polypropylene* (PP), kapasitas produksi lokal hanya mampu memenuhi sekitar 90% dan 65% dari kebutuhan nasional (Sari & Yanto, 2025). Kondisi ini diperparah oleh data defisit yang terus melebar; penelitian yang diterbitkan dalam *Buletin Ilmiah Litbang Perdagangan* (Kementerian Perdagangan RI) mengkaji ketergantungan beberapa sektor industri terhadap bahan baku impor, dan mengidentifikasi bahwa struktur industri yang belum kuat menjadi akar dari permasalahan impor bahan baku yang berkelanjutan di Indonesia (Arianti, 2020). Salah satu komoditas petrokimia yang kebutuhannya terus meningkat namun belum diproduksi secara mandiri adalah *cumene* (*isopropilbenzena*) dengan rumus molekul C_9H_{12} . *Cumene* merupakan senyawa yang sangat penting bagi perkembangan industri kimia, di antaranya digunakan sebagai bahan baku pembuatan *fenol*, *aseton*, *acetophenone*, *resin*, *solven*, dan asam *terephthalat*, serta dalam industri mekanik digunakan sebagai zat aditif pada bahan bakar untuk meningkatkan kemampuan mesin piston (Ansari & Ihsan, 2022).

Dari perspektif proses produksi, *cumene* disintesis melalui reaksi alkilasi benzena dengan propilena menggunakan bantuan katalis. *Cumene* merupakan molekul penting dalam industri petrokimia yang digunakan sebagai senyawa antara dalam produksi fenol dan aseton, di mana sintesisnya didasarkan pada reaksi alkilasi benzena dengan propilena menggunakan katalis asam padat (Torres-Rodríguez et al., 2012). Dalam perkembangannya, katalis aluminium klorida dan asam fosfat padat yang konvensional telah banyak ditinggalkan karena menimbulkan masalah korosi, pencemaran lingkungan, dan konsumsi energi yang tinggi, sehingga zeolit kini banyak digunakan dalam katalisis industri sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan (Guo et al., 2021). Selama proses alkilasi benzena dengan propilena untuk mensintesis *cumene*, zeolit seperti BEA, MFI, dan MWW menunjukkan aktivitas katalitik yang baik, di mana zeolit BEA merupakan yang paling aktif dan mampu menghasilkan *cumene* dengan selektivitas tinggi (Huseynova et al., 2022). Pendirian pabrik *cumene* di Indonesia memiliki justifikasi ekonomi yang kuat ditinjau dari sisi pasar domestik maupun regional. Prarancangan pabrik *cumene* berbahan baku benzena dan propilena yang dirancang berkapasitas 65.000 ton/tahun di Cilegon, Banten menunjukkan bahwa kebutuhan bahan baku benzena dapat diperoleh dari dalam negeri, sementara propilena dapat dipasok dari PT. Chandra Asri Cilegon, mengindikasikan ketersediaan infrastruktur bahan baku yang mendukung. Selain itu, studi prarancangan pabrik *cumene* dengan kapasitas 65.000 ton/tahun yang berlokasi di Cilacap menghasilkan *Return on Investment* (ROI) sebelum pajak sebesar 34.97% dengan waktu pengembalian modal (POT) sebelum pajak selama 4 tahun 11 bulan, yang menunjukkan kelayakan finansial yang sangat menjanjikan.

Tujuan utama pendirian pabrik *cumene* ini adalah untuk memenuhi kebutuhan isopropilbenzena di dalam negeri sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap impor. Selain itu, pembangunan pabrik ini diharapkan mampu mendorong pertumbuhan industri hilir yang menggunakan fenol dan aseton sebagai bahan baku, menciptakan lapangan kerja, meningkatkan nilai tambah sumber daya dalam negeri, memperluas pasar ekspor ke kawasan Asia Tenggara, serta memperkuat devisa negara.

1.2 Penentuan Kapasitas Rancangan Pabrik

Penetapan volume produksi dalam perancangan pabrik *cumene* dilakukan melalui analisis komprehensif yang mengintegrasikan dinamika pasar dan aspek kemandirian industri nasional. Fokus utama dalam tahap ini adalah proyeksi konsumsi *cumene*, baik dalam lingkup domestik, regional ASEAN, maupun pasar global, yang secara konsisten dipicu oleh eskalasi kebutuhan industri hilir seperti manufaktur fenol dan aseton. Mengingat Indonesia hingga saat ini masih mengandalkan jalur impor untuk memenuhi kebutuhan intermediat polimer tersebut, kapasitas yang dirancang harus mampu mengantisipasi celah pasar (*market gap*) secara signifikan. Dengan merujuk pada tren pertumbuhan sektor petrokimia dalam tujuh tahun terakhir, pendirian unit produksi ini diposisikan sebagai langkah strategis untuk mereduksi ketergantungan pada pemasok luar negeri sekaligus memperkuat struktur manufaktur kimia di dalam negeri (Hussain dkk., 2021).

Aspek fundamental kedua yang menentukan besaran kapasitas adalah ketersediaan bahan baku serta standar skala komersial yang berlaku di industri internasional. Kepastian suplai benzena dan propilena, baik melalui integrasi dengan kilang minyak domestik maupun pengadaan dari pasar global, menjadi parameter pembatas primer dalam menjamin kontinuitas operasional pada beban unit yang paling efisien (Nandong dkk., 2023). Secara ekonomi, kapasitas rancangan ini ditetapkan dengan mempertimbangkan prinsip *economies of scale* guna meminimalkan biaya produksi per unit produk dan memastikan harga jual tetap kompetitif di pasar bebas. Melalui studi komparatif terhadap pabrik *cumene* yang telah beroperasi secara komersial di tingkat dunia, kapasitas yang dipilih bertujuan untuk menjamin profitabilitas investasi jangka panjang serta efisiensi modal yang tinggi sesuai dengan standar teknik kimia modern (Sinnott & Towler, 2020).

1.2.1 Proyeksi Kebutuhan *Cumene* Di Indonesia, Asean Dan Global

1.2.1.1 Dalam Negeri

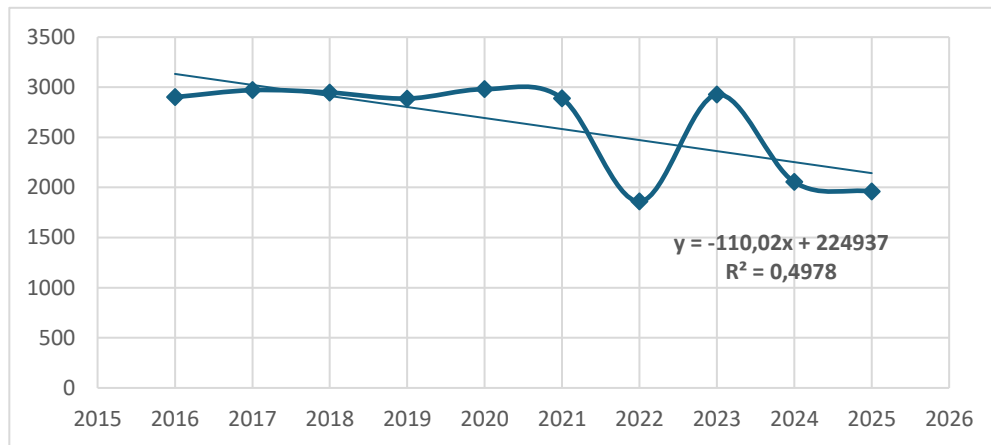
Langkah awal dalam penentuan kapasitas rancangan pabrik adalah melakukan evaluasi terhadap data historis konsumsi produk di dalam negeri. Hal ini dilakukan untuk mengidentifikasi besarnya celah pasar (*market gap*) yang tersedia bagi produsen baru. Hingga saat ini, Indonesia belum memiliki pabrik yang memproduksi *Cumene* secara

mandiri, sehingga seluruh kebutuhan industri domestik sepenuhnya dipenuhi melalui jalur impor.

Cumene merupakan bahan intermedit primer yang tidak tergantikan dalam sintesis Fenol dan Aseton. Di pasar domestik, turunan kimia tersebut merupakan komponen krusial bagi keberlangsungan industri Bisphenol-A (BPA) untuk polikarbonat, resin epoksi sebagai pelapis (*coating*), serta nilon-6 yang menjadi bahan baku vital pada sektor otomotif dan tekstil. Mengingat sektor manufaktur hilir tersebut terus mengalami ekspansi, ketiadaan produksi lokal berisiko memperlemah daya saing industri kimia nasional serta memperlebar defisit neraca perdagangan. Berikut proyeksi data impor *Cumene* di Indonesia selama sepuluh tahun terakhir disajikan pada Tabel 1.1.

Tabel 1. 1 Impor *Cumene* di Indonesia 2016-2025

Tahun	Volume (ton)
2016	2901,318
2017	2970,8
2018	2946,942
2019	2887,079
2020	2980,596
2021	2889,987
2022	1860,192
2023	2926,626
2024	2054,547
2025	1960,545
Rata-rata	2637,863



Grafik 1. 1 Proyeksi Data Impor *Cumene* Indonesia Tahun 2016-2025

Berdasarkan pengolahan data pada Tabel 1.1, volume impor *Cumene* di Indonesia selama periode 2016-2025 menunjukkan nilai rata-rata sebesar 2637,86 ton per tahun (BPS, 2025). Terdapat fluktuasi volume impor penurunan signifikan pada tahun 2022 menjadi 1860,192 ton, diidentifikasi sebagai dampak eksternal dari disrupsi rantai pasok global dan pembatasan logistik selama fase pemulihan pandemi *Covid-19* (Gereffi, 2020). Meskipun secara statistik grafik pada Gambar 1.1 menunjukkan tren penurunan melalui persamaan regresi linear $y = -110,02x + 224937$, kondisi ini dipahami sebagai hambatan akses pengadaan produk dari pasar internasional dan bukan merupakan indikasi penurunan kebutuhan riil industri manufaktur hilir nasional (Aries & Newton, 1955). Hal ini sejalan dengan prinsip perancangan pabrik bahwa penentuan kapasitas tidak hanya bergantung pada tren historis semata, melainkan harus mempertimbangkan dinamika pasar serta potensi substitusi impor guna memperkuat kemandirian industri kimia dalam negeri (Peters & Timmerhaus, 2003).

Hasil proyeksi menggunakan metode *Least Square* menunjukkan bahwa kebutuhan *Cumene* di Indonesia diperkirakan sebesar 1816,44 ton pada tahun 2028 dan terus berlanjut hingga 1596,4 ton pada tahun 2030 (BPS, 2025). Penggunaan metode regresi linear dalam memprediksi kebutuhan masa depan merupakan prosedur standar dalam prarancangan pabrik kimia untuk meminimalkan deviasi antara data historis dan estimasi kapasitas produksi (Coulson & Richardson, 2005). Mengingat *Cumene*

merupakan intermedit primer dalam sintesis fenol dan aseton yang permintaannya terus tumbuh di sektor polimer, angka proyeksi domestik ini ditetapkan sebagai ambang batas minimal dalam penentuan kapasitas rancangan (McKetta & Cunningham, 1984). Namun, agar pabrik memenuhi kriteria skala ekonomi yang menguntungkan (*minimum economic scale*), kapasitas produksi akhir nantinya akan diintegrasikan dengan data kebutuhan regional ASEAN dan global untuk memastikan daya saing terhadap produsen internasional yang sudah beroperasi secara komersial (Ulrich, 1984).

Tabel 1. 2 Data Kebutuhan *Cumene* di Pabrik Indonesia

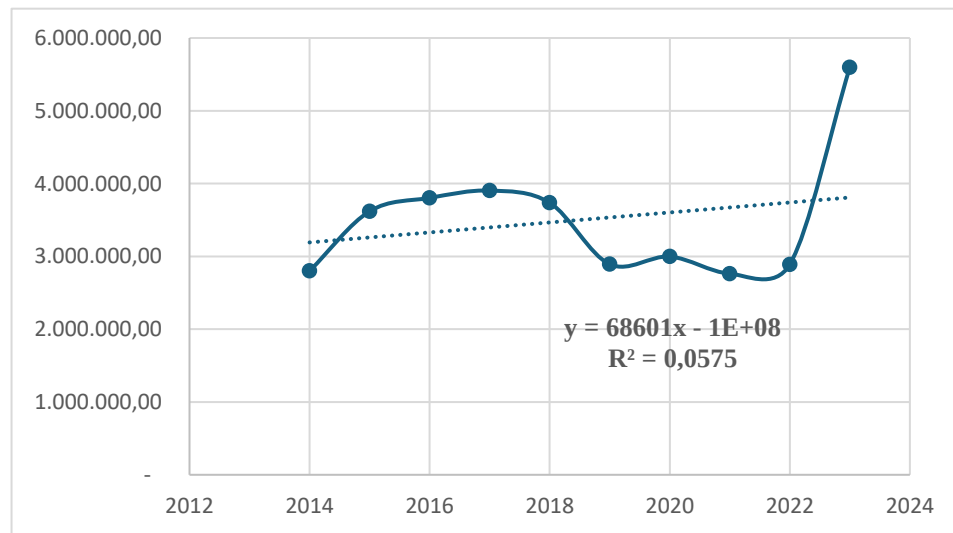
Perusahaan	Kegunaan
PT. Metropolitan Phenol	Fenol
PT Lautan Luas Tbk	Solvent
PT Grammar Pain	Aseton
PT Safana Plastik	Fenol
PT Mitsui Phenols Indonesia	Fenol & Aseton

1.2.1.2 Proyeksi *Cumene* di ASEAN

Evaluasi kebutuhan pasar pada tingkat regional dilakukan untuk memetakan potensi ekspor serta memperluas jangkauan distribusi produk melampaui pasar domestik. Berdasarkan data dari *United Nations Statistics Division*, volume impor *Cumene* di kawasan Asia Tenggara selama periode 2014-2023 menunjukkan nilai rata-rata sebesar 3,314,600.62 kg per tahun . Disusul lonjakan drastis pada tahun 2023 mencapai 5,598.20 kg (UNDATA, 2025). Lonjakan permintaan ini secara teknis didorong oleh posisi *Cumene* sebagai intermedit utama yang diolah menjadi Fenol dan Aseton. Di kawasan ASEAN turunan kimia tersebut sangat krusial bagi keberlangsungan sektor elektronik sebagai pelapis papan sirkuit (PCB) melalui resin epoksi, serta sektor otomotif untuk komponen plastik ringan yang meningkatkan efisiensi bahan bakar (McKetta & Cunningham, 1984). Berikut proyeksi data impor *Cumene* di ASEAN 2014-2023 disajikan pada Tabel 1.3 dan Grafik 1.2.

Tabel 1. 3 Data Impor *Cumene* Asean 2014-2023

Tahun	Volume (kg)
2014	2.799.999,00
2015	3.619.334,00
2016	3.803.486,00
2017	3.904.182,00
2018	3.736.503,00
2019	2.892.448,00
2020	2.997.179,00
2021	2.763.674,00
2022	2.890.674,00
2023	5.598.209,00
Rata-rata	3.314.600,63



Grafik 1. 2 Proyeksi Impor *Cumene* ASEAN Tahun 2016-2025

Hasil analisis proyeksi ASEAN menggunakan metode regresi linear dengan persamaan $y = 68.601x - 1E+08$ memprediksi bahwa kebutuhan *Cumene* di kawasan ASEAN akan terus meningkat mencapai 39.260.030 kg pada tahun 2030. Penggunaan metode regresi ini merupakan prosedur standar dalam perancangan industri kimia untuk meminimalkan deviasi antara estimasi kapasitas dengan pertumbuhan pasar nyata di masa depan (Coulson & Richardson, 2005). Dengan menetapkan target pasar di tingkat regional, pabrik di Indonesia memiliki peluang

strategis untuk menyuplai rantai pasok industri global di Asia Tenggara sekaligus mencapai skala ekonomi yang menguntungkan dibandingkan hanya mengandalkan pasar domestik yang terbatas (Ulrich, 1984).

1.2.1.3 Proyeksi Secara Global

Analisis pada skala internasional dilakukan untuk meninjau posisi *Cumene* sebagai komoditas strategis dalam rantai pasok kimia dunia yang dinamis. Berdasarkan data volume impor internasional, permintaan global pada tahun 2015 mencapai 1.120.790 ton dan diprediksi tetap bertahan pada level fungsional sebesar 642.000 ton pada tahun 2025. Secara industri, dominasi pemanfaatan *Cumene* di tingkat global sangat spesifik, di mana hampir 95% dari total produksi dunia dialokasikan khusus untuk sintesis Fenol dan Aseton. Konsumsi masif ini didorong oleh ekspansi sektor manufaktur di wilayah Asia-Pasifik yang kini menjadi pusat produksi polikarbonat dan resin epoksi dunia guna memenuhi kebutuhan pasar infrastruktur serta teknologi berkelanjutan (Zak dkk., 2021). Perkembangan volume impor *Cumene* secara global disajikan secara ringkas pada Tabel 1.4 berikut:

Tabel 1. 4 Data Impor *Cumene* Global 2015-2025

Tahun	Volume Impor Global (Ton)
2015	1.120.790
2016	980.290
2017	1.050.141
2018	1.180.952
2019	985.714
2020	850.374
2021	825.125
2022	992.307
2023	669.090
2024	655.238
2025	642.000
Rata-rata	904.729

Peluang bagi pendirian pabrik baru di Indonesia tetap terbuka lebar mengingat nilai pasar *Cumene* dunia diproyeksikan tumbuh stabil. Pertumbuhan ini diukur menggunakan *Compound Annual Growth Rate* (CAGR), yaitu metode perhitungan laju pertumbuhan tahunan rata-rata yang memperhatikan efek akumulasi nilai selama periode waktu tertentu guna memberikan estimasi tren pasar yang lebih akurat (Peters & Timmerhaus, 2003). Berdasarkan analisis pasar, nilai CAGR untuk *Cumene* global diproyeksikan sebesar 4,3% hingga 4,9% hingga tahun 2030 (Mordor Intelligence, 2024). Faktor utama yang memperkuat peluang ekspor ini adalah peningkatan permintaan akan polikarbonat untuk industri teknologi berkelanjutan (Towler & Sinnott, 2022). Dengan mengoptimalkan efisiensi produksi, pabrik ini diharapkan mampu menangkap ceruk pasar internasional sekaligus mencapai skala ekonomi komersial yang kompetitif (Turton dkk., 2018).

Penetapan kapasitas rancangan pabrik ini didasarkan pada integrasi data kebutuhan dari tiga tingkatan wilayah guna memastikan kelayakan ekonomi dan keberlangsungan usaha. Berdasarkan hasil proyeksi kebutuhan *Cumene* di Indonesia pada tahun 2030 diperkirakan sebesar 1.596,40 ton. Untuk mengoptimalkan operasional pabrik strategi pengembangan diarahkan pada penetrasi pasar ekspor di kawasan regional ASEAN yang memiliki potensi serapan masif sebesar 39.260,03 ton pada periode yang sama.

Penetapan kapasitas rancangan pabrik ini didasarkan hasil akumulasi kebutuhan pasar Indonesia dan ASEAN menunjukkan total proyeksi sebesar 40.856,43 ton. Dalam prosedur perancangan pabrik kimia, kapasitas akhir harus mempertimbangkan faktor ketidakpastian serta potensi pertumbuhan industri hilir melalui penerapan *safety reason* (Turton dkk., 2018). Melalui pertimbangan tersebut, diperoleh nilai kebutuhan sebesar 61.284,65 ton, sehingga kapasitas rancangan pabrik *Cumene* ditetapkan sebesar 65.000 ton per tahun. Kapasitas ini dinilai sebagai titik optimal (*minimum economic scale*) yang mampu mensubstitusi seluruh kebutuhan impor nasional sekaligus mengambil ceruk pasar ekspor secara kompetitif (Towler & Sinnott, 2022). Dalam analisis kebutuhan Global diposisikan sebagai parameter

fundamental untuk menjamin bahwa kualitas produk yang dihasilkan memenuhi standar internasional, sehingga memiliki daya saing yang kuat di pasar dunia (Ulrich, 1984; Peters & Timmerhaus, 2003). Diversifikasi pasar ini menjamin fleksibilitas operasional pabrik terhadap dinamika suplai kimia global di masa mendatang (Turton dkk., 2018).

1.2.2 Ketersediaan Bahan Baku

Ketersediaan bahan baku secara kontinu dari sumber domestik merupakan parameter fundamental untuk menjamin keberlangsungan operasional pabrik sekaligus menghilangkan ketergantungan pada impor (Towler & Sinnott, 2022). Untuk memenuhi kapasitas rancangan 65.000 ton per tahun, kebutuhan utama Propilena (C_3H_6) seluruhnya dapat dipenuhi oleh produsen dalam negeri yang berlokasi strategis di kawasan industri Cilegon. Pemasok utama Propilena adalah PT Chandra Asri Petrochemical Tbk dengan kapasitas produksi *Propylene* 470.000 ton/tahun. Benzena diproduksi oleh PT Pertamina (Persero) dari kilang RU IV Cilacap sebesar 120.000 ton/tahun. yang memiliki kapasitas produksi mumpuni untuk menjamin kestabilan pasokan *feedstock* secara jangka panjang (Chandra Asri, 2025). Integrasi lokasi ini secara teknis meningkatkan efisiensi proses dan memastikan bahwa seluruh kebutuhan bahan baku terpenuhi tanpa perlu melakukan pengadaan dari luar negeri (Ulrich, 1984).

Sebagai langkah mitigasi risiko untuk menjamin keberlanjutan produksi, tersedia sumber pasokan cadangan (*backup supply*) di dalam negeri untuk menjaga stabilitas operasional (Peters & Timmerhaus, 2003). Selain dari pemasok utama di Cilegon, kebutuhan Benzena dapat didukung oleh PT Pertamina (Persero) melalui kilang *Refinery Unit* (RU) IV Cilacap yang memiliki rekam jejak produksi Benzena berskala industri (Pertamina, 2025). Melalui skema kemitraan strategis antar-produsen domestik ini, pabrik *Cumene* memiliki tingkat kemandirian bahan baku yang sangat tinggi, yang pada akhirnya memperkuat struktur industri petrokimia nasional dan meminimalkan defisit neraca perdagangan (Towler & Sinnott, 2022).

1.2.3 Skala Komersial Pabrik Yang Didirikan

Penetapan kapasitas akhir sebuah pabrik kimia harus memenuhi kriteria skala ekonomi agar mampu bersaing secara harga dan operasional di pasar regional maupun internasional. Pabrik harus didirikan pada skala komersial yang mampu mencapai titik impas operasional atau *minimum economic scale*, di mana biaya modal dan biaya operasional dapat terdistribusi secara optimal terhadap volume produk yang dihasilkan (Towler & Sinnott, 2022). Kapasitas yang terlalu kecil akan menyebabkan harga jual produk tidak kompetitif, sementara kapasitas yang terlalu besar tanpa didukung serapan pasar yang pasti akan meningkatkan risiko kerugian investasi (Turton dkk., 2018).

Tabel 1. 5 Produsen *Cumene* di ASEAN 2026

Negara	Perusahaan	Kapasitas (Ton/Tahun)
Singapura	Mitsui Phenols Singapore	410.000
Singapura	Shell Eastern Petroleum	260.000
Thailand	PTT Phenol Co	650.000
Thailand	Thai Mitsui Specialty Chemicals	150.000

Berdasarkan Tabel 1.5, produksi di Asia Tenggara didominasi oleh unit skala besar di Singapura dan Thailand. Mengingat Indonesia masih mengandalkan impor untuk memenuhi kebutuhan domestik sebesar 1.596,40 ton serta adanya potensi pasar ASEAN sebesar 39.260,03 ton pada tahun 2030, maka diperoleh total potensi serapan sebesar 40.856,43 ton. Guna menjamin fleksibilitas operasional dan mengantisipasi ketidakpastian pertumbuhan ekonomi, diterapkan *overdesign factor* sebesar 1,5 (faktor keamanan 50%) sehingga diperoleh nilai kapasitas sebesar 61.284,65 ton (Towler & Sinnott, 2022). Berdasarkan pertimbangan teknis dan pembulatan ekonomis tersebut, kapasitas rancangan pabrik ditetapkan sebesar 65.000 ton per tahun.

Tabel 1. 6 Produsen *Cumene* Secara Global 2026

Lokasi	Nama Perusahaan	Kapasitas (Ton/Tahun)
INEOS Phenol	Gladbeck, Jerman	2.200.000
Sintez-Kauchuk	Sterlitamak, Rusia	60.000
Shell PLC	Texas, AS	1.750.000
SINOPEC	Shanghai, China	1.600.000
Kumho P&B Chem.	Yeosu, Korsel	750.000

Nippon Steel Chem.	Tobata, Jepang	80.000
PTT Phenol	Map Ta Phut, Thailand	650.000
Mitsui Phenols	Jurong, Singapura	410.000
SABIC-	Al-Jubail, S. Arabia	1.050.000

1.3 Pemilihan Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik merupakan keputusan strategis yang memerlukan analisis komprehensif terhadap aspek teknis, ekonomi, dan keselamatan kerja. Secara geografis, ketepatan lokasi tidak hanya menjamin efisiensi distribusi, tetapi juga menentukan resiliensi industri terhadap fluktuasi pasar global. Pemilihan lokasi harus didasarkan pada optimasi biaya variabel (*variable cost*) dan stabilitas infrastruktur energi guna menjamin keberlangsungan operasional yang bersifat kontinyu (*continuous process*) (Peters dkk., 2003).

Salah satu pendekatan fundamental dalam perancangan industri petrokimia adalah melalui Analisis Klaster Industri (*Industrial Clustering*). Teori ini menekankan bahwa efisiensi operasional tertinggi dicapai saat pabrik terintegrasi dalam ekosistem hulu-hilir yang matang. Berdasarkan studi penempatan pabrik pada klaster terpadu dapat mereduksi intensitas energi dan emisi karbon secara signifikan melalui skema simbiose industri, seperti pemanfaatan uap panas bumi (*excess steam*) dan pertukaran material antar unit (Gong dkk., 2023). Dalam konteks ini, lokasi ideal bagi pabrik *Cumene* adalah wilayah yang memiliki akses langsung ke terminal bahan kimia khusus demi mereduksi biaya investasi awal pada fasilitas penyimpanan (Sinnott, 2005).

Mengingat sintesis *Cumene* melibatkan reaksi alkilasi antara Benzena dan Propilena yang bersifat eksotermis dan memerlukan pengendalian tekanan tinggi, aspek keselamatan menjadi parameter kritis. Pabrik dengan bahan baku gas berisiko tinggi (*hazardous gas*) harus memprioritaskan lokasi yang memiliki jaringan perpipaan terintegrasi guna meminimalkan risiko kecelakaan selama transportasi darat (Turton dkk., 2012). Selain itu, kedekatan dengan pemasok bahan baku utama memungkinkan penerapan sistem *just-in-time* yang krusial untuk menjaga kemurnian bahan baku sebelum masuk ke reaktor tetap (*fixed-bed reactor*).

Selain itu terdapat pendekatan lain dalam pemilihan lokasi yaitu, mempertimbangkan teori *weight gain* dan *weight loss* yang menjelaskan penentuan lokasi berdasarkan efisiensi logistik dan karakteristik fisik material. Teori *weight gain* menyarankan lokasi pabrik dekat dengan pasar jika produk memiliki massa lebih besar dari bahan bakunya, sedangkan teori *weight loss* menyarankan lokasi dekat sumber bahan baku apabila produk lebih ringan atau jika bahan baku memiliki karakteristik yang sulit dan mahal untuk ditransportasikan. Dalam perancangan pabrik *Cumene*, pendekatan *weight loss* (orientasi bahan baku) menjadi dasar utama karena bahan baku Propilena dari PT Chandra Asri berada dalam kondisi cair bertekanan tinggi (11,5 atm), yang memerlukan penanganan khusus dan biaya transportasi yang lebih tinggi serta risiko lebih besar dibandingkan Benzena dari PT Pertamina (1 atm) maupun produk akhir *Cumene* yang berfasa cair stabil. Oleh karena itu, lokasi di Cilegon dipilih agar pabrik berada sedekat mungkin dengan sumber bahan baku utama guna menekan biaya logistik, meminimalkan risiko selama pengangkutan material bertekanan, dan menjamin kelancaran suplai bahan baku secara keseluruhan.

Berdasarkan pertimbangan mendalam mengenai integrasi kawasan, keamanan transportasi bahan baku bertekanan, serta efisiensi energi tersebut, terdapat tiga wilayah potensial di Indonesia yang memenuhi kriteria sebagai lokasi pembangunan pabrik *Cumene*, yaitu:

- Cilegon, Banten
- Cilacap, Jawa Tengah
- Bontang, Kalimantan Timur

Tabel 1. 7 Parameter 3 Lokasi Pabrik

Lokasi / Parameter	Cilegon, Banten	Cilacap, Jawa Tengah	Bontang, Kalimantan Timur
Bahan Baku	Sangat dekat dengan PT. Chandra Asri Petrochemical (suplai Propilena). Bahan Benzena PT Pertamina RU IV	Dekat dengan PT Pertamina RU IV sebagai penyedia aromatik dan produk kilang.	Dekat dengan kawasan Kaltim Industrial Estate (suplai berbasis gas dan minyak).

Pemasaran Produk	Potensi pasar besar di Jabodetabek untuk industri turunan (Fenol, Aseton, Nilon).	Pasar terfokus di Jawa Tengah dan distribusi merata ke arah timur/barat Jawa.	Pasar domestik terbatas, posisi strategis lebih mengarah pada ekspor Asia Timur.
Harga Tanah	Relatif tinggi (Rp 3 – 5 juta/m ²) karena zona industri berat eksklusif.	Sedang (Rp 1,5 – 3 juta/m ²) di area sekitar kawasan industri Cilacap.	Lebih rendah (Rp 1 – 2 juta/m ²) namun lahan siap bangun cukup terbatas.
Sistem Penguapan	Tinggi (Rp 4,8 – 5,2 juta), sesuai UMK Cilegon sebagai kota industri.	Rendah (Rp 2,5 – 3,0 juta), kompetitif untuk biaya operasional tenaga kerja.	Sedang-Tinggi (Rp 3,5 – 4,5 juta) karena tunjangan area industri luar Jawa.
Persediaan Tenaga Kerja	Sangat Tinggi; banyak lulusan teknik kimia dari universitas ternama dan politeknik lokal.	Tinggi; tersedia tenaga terampil berpengalaman di bidang kilang dan perminyakan.	Sedang; didominasi tenaga kerja lokal ahli gas, namun mobilitas pendatang terbatas.
Utilitas	Sangat lengkap; listrik dari PLTU Suralaya dan air industri dari PT KTI.	Terjamin melalui integrasi utilitas dengan unit kilang Pertamina dan PLTU Cilacap.	Tersedia di dalam kawasan terpadu, namun biaya pengolahan air relatif tinggi.
Limbah	Fasilitas pengolahan terpadu tersedia dengan akses pihak ketiga pengolah B3 berizin.	Terintegrasi dengan sistem pengolahan limbah kilang yang sangat ketat.	Standar pengelolaan limbah industri gas yang baik di kawasan KIE.
Transportasi	Strategis dengan Pelabuhan Ciwandan dan akses tol langsung ke pusat industri.	Didukung Pelabuhan Tanjung Intan dan jalur kereta api logistik yang mapan.	Mengandalkan jalur laut melalui dermaga khusus untuk distribusi antar pulau.

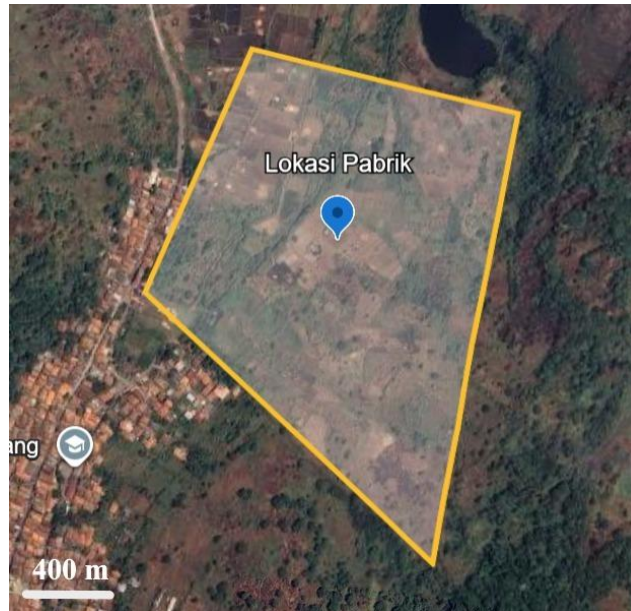
Berikut ini disajikan Tabel 1.8 analisis parameter-parameter yang penting untuk menentukan lokasi pabrik *cumene* pada tabel sebelumnya. Analisis parameter tersebut berdasarkan scoring skala prioritas sesuai dengan kondisi paling menguntungkan dalam pemilihan lokasi pabrik.

Tabel 1. 8 Matriks Penilaian 3 Lokasi Pabrik *Cumene*

Parameter	Cilegon	Cilacap	Bontang
Bahan Baku	5	4	4
Pemasaran Produk	5	4	3
Harga Tanah	3	4	5
Sistem Pengupahan	3	5	4
Persediaan Tenaga Kerja	5	4	3
Kebijakan Pemda	5	4	4
Utilitas	5	5	4
Limbah	5	5	4
Transportasi	5	4	3
Total Skor	41	39	34
Rata-rata	4,55	4,33	3,78

Berdasarkan hasil analisis terhadap berbagai parameter di atas, diperoleh kesimpulan bahwa Cilegon, Banten merupakan lokasi yang paling layak dengan skor tertinggi 4,55. Keunggulan utama Cilegon terletak pada integrasi bahan baku. Kedekatan dengan pemasok utama (PT Chandra Asri) memungkinkan pengiriman propilena melalui jalur pipa yang secara drastis menurunkan biaya logistik dan risiko transportasi. Selain itu, Cilegon memiliki infrastruktur utilitas (air dan listrik) yang paling stabil serta kedekatan dengan pasar industri hilir di Jawa Barat. Meskipun memiliki beban upah dan harga tanah yang lebih tinggi, efisiensi operasional jangka panjang menjadikannya lokasi paling strategis untuk pra-rancang pabrik *Cumene* ini.

1.3.1 Spesifikasi Lokasi



Gambar 1. 1 Lokasi Pabrik *Cumene*

Berdasarkan hasil skoring pada matriks pemilihan lokasi yang menempatkan Cilegon sebagai wilayah dengan total nilai tertinggi (4,55), maka ditentukan lokasi spesifik pembangunan pabrik *Cumene* berada di kawasan industri Ciwandan, Cilegon. Secara geografis, tapak pabrik terletak pada koordinat $5^{\circ}53'39.5''S$ $106^{\circ}03'24.2''E$ (atau -5.894305, 106.056722). Lokasi ini dipilih karena merupakan zona industri berat yang telah terverifikasi dalam sistem informasi pertanahan BHUMI, dengan peruntukan lahan industri yang siap bangun dan memiliki legalitas hukum yang kuat.

Pemilihan titik koordinat tersebut didasarkan pada keunggulan strategis yang menunjang operasional pabrik *Cumene* dari berbagai aspek teknis. Hal ini selaras dengan nilai tinggi pada parameter bahan baku di Tabel 1, karena menghilangkan ketergantungan pada logistik darat yang berisiko tinggi. Selain itu, berdasarkan data BHUMI, tersedia luas lahan sebesar 126.163 m^2 (sekitar 12,6 Ha). Luasan ini sangat memadai untuk menampung unit proses, area penyimpanan (*tank farm*), unit pengolahan limbah, hingga penyediaan zona hijau (*buffer zone*) sebagai pemenuhan standar K3 industri petrokimia. Estimasi harga lahan di zona strategis ini berkisar antara Rp 3.000.000,- hingga Rp 5.000.000,- per m^2 , sebuah investasi yang sebanding dengan ketersediaan infrastruktur pendukung yang mapan.

Dukungan utilitas di lokasi ini juga sangat memadai, di mana tapak pabrik berada dalam jangkauan distribusi air industri dari PT Krakatau Tirta Industri (KTI) dan jaringan listrik transmisi tinggi dari PLTU Suralaya. Kedekatannya dengan Pelabuhan Ciwandan memudahkan mobilisasi peralatan berat selama masa konstruksi serta memperlancar jalur distribusi produk ke pasar internasional. Integrasi di kawasan Ciwandan ini juga mempermudah koordinasi tanggap darurat antar-industri (*Mutual Aid*) mengingat statusnya sebagai Objek Vital Nasional. Dengan demikian, pemilihan spesifikasi lokasi ini menjamin efisiensi ekonomi jangka panjang serta keamanan operasional pabrik secara menyeluruh.

1.4 Pemilihan dan Penentuan Proses

Penentuan proses merupakan salah satu tahap penting dalam perancangan pabrik *Cumene*. Proses yang dipilih dapat menentukan efisiensi produksi, kualitas produk, kebutuhan energi, aspek ekonomi maupun operasional pabrik secara keseluruhan. Seiring dengan perkembangan teknologi industri petrokimia berbagai metode produksi *Cumene* telah digunakan. Beberapa perbedaan yang paling mencolok adalah pada penggunaan jenis katalis dan kondisi operasi. Perbedaan ini mempengaruhi konversi reaksi, selektivitas terhadap produk utama, kemurnian produk maupun biaya operasional. Oleh karena itu, diperlukan kajian terhadap beberapa alternatif proses produksi *Cumene* yang telah diterapkan di industri. Kajian ini bertujuan untuk memahami karakteristik masing masing proses sebagai dasar dalam menentukan proses yang paling sesuai untuk digunakan dalam perancangan pabrik dengan kapasitas yang telah ditentukan.

1.4.1 Proses AlCl_3 (Monsanto-Kellogg)

Proses AlCl_3 merupakan metode generasi pertama yang dikembangkan oleh Monsanto-Kellogg untuk produksi *cumene* secara komersial. Benzena segar maupun daur ulang dicampur dengan propilena di zona reaksi alkilasi menggunakan katalis AlCl_3 dan HCl pada suhu di bawah 135°C dan tekanan di bawah 0,4 MPa (Stefanidakis & Gwyn., 1977). Efluen dari zona alkilasi kemudian digabungkan dengan poliisopropilbenzena (PIPB) daur ulang dan diumpankan ke zona transalkilasi yang juga menggunakan katalis AlCl_3 , di mana DIPB dikonversi kembali menjadi *cumene* (Stefanidakis & Gwyn., 1977). Katalis asam kuat dipisahkan dari fasa organik dengan mencuci efluen reaktor

menggunakan air dan larutan basa (Hwang et al., 2013). Meskipun proses ini mampu menghasilkan *cumene* dengan yield hingga ~99 wt% berbasis benzena, penggunaan AlCl_3 membawa dampak serius berupa korosi tinggi, risiko keselamatan personel, serta permasalahan lingkungan akibat pembuangan katalis bekas (Hwang et al., 2013).

1.4.2 Proses SPA / Solid Phosphoric Acid (UOP)

Proses SPA dikembangkan oleh UOP menggunakan katalis asam fosfat padat yang disangga pada kieselguhr dalam konfigurasi *fixed-bed*. Proses ini beroperasi pada suhu 170–280°C dengan tekanan yang cukup untuk mempertahankan propilena dalam fasa cair, serta menggunakan rasio molar benzena/propilena di bawah 6:1 (Ghirga et al., 1982). Dalam skema dua tahap seri, tahap pertama terdiri dari beberapa bed katalis yang disusun seri, sedangkan tahap kedua menggunakan satu bed katalis dengan volume setara dengan total bed tahap pertama, beroperasi pada suhu 170–270°C dan tekanan 30–50 kg/cm² (Calcagno et al., 1982). Kelemahan utama proses ini adalah ketidakmampuan SPA dalam mempromosikan transalkilasi DIPB kembali menjadi *cumene*, sehingga DIPB dan komponen berat harus dibuang sebagai produk bawah kolom distilasi terakhir, yang mengakibatkan kerugian yield (Calcagno et al., 1982). Selain itu, katalis SPA tidak dapat diregenerasi dan harus dibuang setelah 6–18 bulan operasi, sehingga menimbulkan beban pembuangan limbah yang signifikan (Ghirga et al., 1982).

1.4.3 Proses Zeolit (UOP Q-Max / ExxonMobil-Badger)

Proses berbasis zeolit merupakan teknologi generasi ketiga yang saat ini mendominasi lebih dari 80% kapasitas produksi *cumene* global. Teknologi ini pertama kali dikembangkan pada akhir 1980-an, mencakup proses fixed-bed Unocal dan proses distilasi katalitik CR&L, sebelum kemudian berkembang menjadi teknologi Q-Max yang ditawarkan oleh UOP dan Badger *Cumene* Technology dari ExxonMobil (Busca., 2007). Alkilasi benzena dengan propilena dilakukan dalam reaktor fixed-bed multi-bed pada kondisi fasa cair, menggunakan katalis zeolit seperti beta, Y, MCM-22, atau UZM-8 pada suhu 50–300°C dan tekanan 0,5–10 MPa (Schmidt., 2012; Hwang & Johnson., 2017). Produk sampingan DIPB dan TIPB yang terbentuk selanjutnya diumpankan ke reaktor transalkilasi terpisah bersama benzena daur ulang untuk menghasilkan *cumene* tambahan

(Hwang & Johnson, 2017). Proses ini mampu menghasilkan *cumene* dengan kemurnian lebih dari 99,95 wt% dan yield lebih dari 99,9 wt%, sekaligus mengeliminasi masalah korosi dan pembuangan limbah katalis yang menjadi kelemahan teknologi AlCl_3 dan SPA sebelumnya (Torres-Rodríguez et al., 2012;Hwang et al., 2013).

1.4.4 Matriks dari Proses Pembuatan *Cumene*

Tabel 1. 9 Matriks Proses Pembuatan *Cumene*

Parameter	Generasi 1	Generasi 2	Generasi 3
	AlCl_3 — Monsanto	SPA — UOP	Zeolit — Q-Max / Badger
Katalis	$\text{AlCl}_3 + \text{HCl}$	H_3PO_4	Zeolit beta / Y / MCM-22 / UZM-8
Fase Reaksi	Cair	Cair/campuran	Cair (liquid phase)
Suhu operasi	<135 °C	170 – 280 °C	50 – 300 °C
Tekanan operasi	<4 bar	15-50 bar	5-30 bar
Rasio B/P molar	Tidak dipublikasikan	2:1 – 6:1	1,1:1-10:1
Tipe reaktor	Reaktor cair homogen	Fixed-bed	Fixed bed
Kemurnian <i>Cumene</i>	99 wt%	99wt%	99.95-99.97 wt%
Umur katalis	Sekali pakai (disposable)	6-18 bulan, tidak dapat diregenerasi	Panjang, dapat diregenerasi hingga 5 tahun
Korosi peralatan	Sangat tinggi (HCl)	Sedang (H_3PO_4)	Sangat rendah
Yield (basis benzena)	99 wt%	95-97 wt%	$\geq 99,95$ -99,97 wt%
Yield (basis propilene)	98 wt%	Rendah (DIPB tidak dapat di transkilasi)	≥ 98 wt%
Transalkilasi DIPB	Ya (zona AlCl_3 terpisah)	Tidak-SPA tidak aktif	Ya (reaktor transalkilasi)
Teknologi lisensi	Monsanto-Kellogg	UOP (SPA Process)	UOP Q-Max ² , ExxonMobil-Badger, EniChem

1.4.4 Uraian Umum Proses Terpilih

Proses yang dipilih pada perancangan ini mengacu pada teknologi alkilasi fasa cair berbasis zeolit yang dikembangkan serupa dengan pendekatan *UOP Q-Max*, dengan menggunakan katalis zeolit beta dalam konfigurasi dua reaktor fixed-bed seri. Pemilihan proses ini didasarkan pada beberapa pertimbangan teknis dan ekonomis.

Ditinjau dari aspek teknologi, proses berbasis zeolit telah terbukti mendominasi lebih dari 80% kapasitas produksi *cumene* global karena keunggulannya dalam hal kemurnian produk, yield, dan dampak lingkungan dibandingkan proses AlCl_3 maupun SPA (Busca., 2007). Zeolit beta dipilih sebagai katalis karena memiliki aktivitas yang lebih tinggi dibandingkan zeolit Y serta selektivitas yang lebih baik terhadap produk monoalkilasi, dengan pembentukan DIPB sebagai produk samping yang lebih rendah (Hwang et al., 2008). Konfigurasi fixed-bed dipilih karena kemudahan operasi dan kesesuaiannya dengan kondisi fasa cair yang diperlukan untuk meminimalkan reaksi oligomerisasi propilena (Bhan et al., 1990).

Ditinjau dari aspek kondisi operasi, reaktor alkilasi (R-01) dioperasikan pada suhu 150–200°C dan tekanan 30 bar dalam fasa cair, sedangkan reaktor transalkilasi (R-02) dioperasikan pada suhu 100–200°C dan tekanan 20–30 bar (Bhan et al., 1990; Bokade & Kharul., 2005). Rasio molar benzena terhadap propilena ditetapkan sebesar 5:1 untuk menekan pembentukan poliisopropilbenzena (PIPB) sekaligus mengurangi beban daur ulang benzena pada kolom distilasi (Schmidt., 2012). DIPB yang terbentuk sebagai produk samping di reaktor alkilasi direcovery dan dikonversi kembali menjadi *cumene* di reaktor transalkilasi, sehingga yield keseluruhan proses meningkat secara signifikan dibandingkan proses SPA yang tidak memiliki unit transalkilasi (Hwang & Johnson., 2017).