

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Industri petrokimia mengalami perkembangan pesat dalam beberapa tahun terakhir sebagai akibat dari meningkatnya kebutuhan akan produk turunan hidrokarbon seperti plastik, karet sintetis, dan bahan kimia lainnya. 1,3-butadiena adalah salah satu senyawa penting dalam rantai produksi tersebut karena permintaan akan karet sintetis ini meningkat di seluruh dunia.

Senyawa dengan rumus molekul $\text{CH}_2 = \text{CH}-\text{CH} = \text{CH}_2$. Senyawa ini dikenal juga dengan nama buta-1,3-diena, divinyl, atau vinyl ethylene, dan pada kondisi lingkungan normal ($P = 1 \text{ atm}$, $T = 30^\circ\text{C}$), 1,3-butadiena berbentuk gas yang tidak berwarna, mudah terbakar, bersifat reaktif, dan tidak korosif (Ullmann's, 2012).

1,3-Butadiena banyak digunakan sebagai bahan baku dalam banyak industri, terutama dalam pembuatan karet sintetis seperti *styrene-butadiene rubber* (SBR) dan *polybutadiene rubber* (PBR), yang digunakan pada ban kendaraan bermotor. 1,3-butadiena juga digunakan untuk membuat plastik ABS, resin, dan bahan kimia seperti *adiponitrile* dan *chloroprene* (Kent & Riegel, 2007). Penggunaan produk-produk ini meningkat di dalam dan di luar negeri mendorong permintaan 1,3-butadiena yang terus meningkat setiap tahunnya (Othmer, 2005).

Akibat terbatasnya produksi 1,3-butadiena dalam skala kecil di Indonesia, sebagian besar kebutuhan masih dipenuhi dengan impor. Oleh karena itu, pabrik 1,3-butadiena harus didirikan di Indonesia untuk memenuhi kebutuhan nasional sekaligus memungkinkan ekspor. Diharapkan pembentukan pabrik ini akan menciptakan lapangan kerja baru, meningkatkan pendapatan negara, dan mendorong pertumbuhan industri kimia lainnya yang bergantung pada 1,3-butadiena sebagai bahan baku utama (Badan Pusat Statistik, 2024).

1.2. Kapasitas Rancangan

Dalam menentukan kapasitas perancangan suatu pabrik 1,3-butadiena, perlu dilakukan peninjauan berdasarkan kapasitas minimum atau setara dengan kapasitas pabrik yang telah ada serta mampu memenuhi kebutuhan dalam negeri. Beberapa hal yang dapat dijadikan pertimbangan dalam menetapkan kapasitas pabrik antara lain:

- a. Prediksi kebutuhan 1,3-butadiena di Indonesia.
- b. Perhitungan kapasitas produksi 1,3-butadiena di Indonesia
- c. Ketersediaan bahan baku n-butana.

d. Proses produksi yang digunakan

1.2.1. Prediksi Kebutuhan 1,3-Butadiena Di Indonesia

1,3-butadiena merupakan bahan baku penting dalam industri petrokimia, khususnya untuk produksi karet sintetis dan berbagai produk turunan lainnya. Ketersediaan 1,3-butadiena di dalam negeri sangat memengaruhi keberlanjutan industri hilir yang mengandalkan senyawa ini. Oleh karena itu, analisis data impor dan ekspor menjadi indikator penting untuk menggambarkan keseimbangan antara kebutuhan dan kemampuan produksi nasional. Pada Gambar 1.1 dan 1.2 menyajikan data impor dan ekspor 1,3-butadiena Indonesia pada periode 2019–2024 yang digunakan sebagai dasar evaluasi kondisi pasar domestik serta sebagai pertimbangan awal dalam perencanaan pendirian pabrik 1,3-butadiena di Indonesia.

Tabel 1. 1. Data Impor 1,3-Butadiena di Indonesia tahun 2019 – 2024 (Badan Pusat Statistik Indonesia, 2025)

Tahun	Kapasitas (Ton)	Persentase Pertumbuhan (%)
2019	34,461.86	-
2020	17,558.77	-49.05
2021	44,253.64	152.031
2022	73,062.60	65.1
2023	36,326.44	-50.28
2024	70,509.40	94.1
Total		35.32

Tabel 1. 2. Data Ekspor 1,3-Butadiena di Indonesia tahun 2019 – 2024 (Badan Pusat Statistik Indonesia, 2025)

Tahun	Kapasitas (Ton)	Persentase Pertumbuhan (%)
2019	26,622.16	-
2020	17,082.96	-35.83
2021	13,898.51	-18.64
2022	14,500.58	4.33
2023	13,611.10	-6.134

Tahun	Kapasitas (Ton)	Persentase Pertumbuhan (%)
2024	2,005.95	-85.26
Total		-25.59

Berdasarkan Tabel 1.1 data impor 1,3-butadiena Indonesia periode 2019–2024, terlihat bahwa kebutuhan domestik terhadap 1,3-butadiena masih sangat bergantung pada pasokan luar negeri dengan fluktuasi yang cukup tajam setiap tahunnya. Pada tahun 2019, volume impor tercatat sebesar 34,461.86 ton, kemudian mengalami penurunan signifikan pada tahun 2020 menjadi 17,558.77 ton. Penurunan ini dapat dikaitkan dengan melemahnya aktivitas industri dan gangguan rantai pasok global pada periode tersebut. Namun, pada tahun-tahun berikutnya terjadi lonjakan impor yang cukup besar, terutama pada tahun 2021 dan 2022, masing-masing mencapai 44,253.64 ton dan 73,062.60 ton, yang menunjukkan pemulihan dan peningkatan kebutuhan bahan baku industri hilir berbasis karet sintetis dan petrokimia.

Fluktuasi impor yang tinggi berlanjut hingga tahun 2023 dan 2024. Pada tahun 2023, impor kembali menurun menjadi 36,326.44 ton, lalu meningkat tajam pada tahun 2024 hingga mencapai 70,509.40 ton dengan laju pertumbuhan sebesar 94,1%. Kondisi ini mengindikasikan bahwa permintaan domestik terhadap 1,3-butadiena bersifat tidak stabil namun cenderung meningkat dalam jangka menengah, serta sangat sensitif terhadap kondisi ekonomi dan kapasitas produksi dalam negeri. Secara umum, tren impor yang tinggi dan tidak konsisten ini mencerminkan ketiadaan kapasitas produksi nasional yang memadai untuk memenuhi kebutuhan industri secara berkelanjutan.

Sementara itu, pada Tabel 1.2 data ekspor 1,3-butadiena Indonesia pada periode yang sama menunjukkan tren yang cenderung menurun. Pada tahun 2019, volume ekspor masih relatif tinggi sebesar 26,622.16 ton, namun terus mengalami penurunan pada tahun-tahun berikutnya. Hingga tahun 2021, ekspor turun menjadi 13,898.51 ton, yang mengindikasikan berkurangnya surplus atau kapasitas produksi yang dapat dialokasikan untuk pasar luar negeri. Meskipun terjadi sedikit peningkatan pada tahun 2022 menjadi 14,500.58 ton, tren penurunan kembali berlanjut pada tahun 2023 dan mencapai titik terendah pada tahun 2024 dengan volume ekspor hanya 2,005.95 ton.

Penurunan ekspor yang signifikan ini menunjukkan bahwa produksi 1,3-butadiena dalam negeri semakin diprioritaskan untuk memenuhi kebutuhan domestik, atau bahkan belum mampu mencukupi kebutuhan nasional sehingga peluang ekspor semakin terbatas. Hal ini

sejalan dengan data impor yang masih tinggi, yang secara tidak langsung menegaskan bahwa Indonesia berada pada posisi net importer untuk komoditas 1,3-butadiena dalam kurun waktu tersebut.

Berdasarkan analisis kedua tabel tersebut, dapat disimpulkan bahwa terdapat ketidakseimbangan antara kebutuhan dan ketersediaan 1,3-butadiena di dalam negeri. Tingginya volume impor yang fluktuatif serta menurunnya ekspor menjadi indikasi kuat adanya peluang strategis untuk pendirian pabrik 1,3-butadiena di Indonesia. Dengan adanya pabrik domestik, diharapkan ketergantungan terhadap impor dapat dikurangi, stabilitas pasokan bagi industri hilir dapat terjamin, serta potensi peningkatan nilai tambah dan kemandirian industri petrokimia nasional dapat tercapai.

1.2.2. Perhitungan Kapasitas Produksi 1,3-Butadiena Di Indonesia

Dalam perencanaan ini, pabrik 1,3-butadiena direncanakan mulai beroperasi pada tahun 2030. Penentuan kapasitas produksi didasarkan pada evaluasi data impor dan ekspor 1,3-butadiena Indonesia selama periode 2019–2024. Data historis tersebut digunakan sebagai dasar untuk memproyeksikan kebutuhan 1,3-butadiena pada tahun 2030 dengan menerapkan metode pertumbuhan majemuk (*discounted growth*).

$$M = P \times (1+i)^n$$

Keterangan:

- M = Jumlah produk pada akhir tahun perhitungan
- P = Data besarnya impor dan ekspor pada tahun 2030
- i = Rata-rata kenaikan impor setiap tahun
- n = Selisih tahun 2024 dan tahun 2030 (6 tahun)

Perhitungan Peluang Kapasitas

$$m_3 = (m_4 + m_5) - (m_1 + m_2)$$

Keterangan:

- m₁ = Nilai impor pada tahun 2030 (Ton/tahun)
- m₂ = Nilai produksi pada tahun 2030 (Ton/tahun)
- m₃ = Kapasitas pabrik yang akan didirikan (Ton/tahun)
- m₄ = Nilai ekspor pada tahun 2030 (Ton/tahun)
- m₅ = Nilai konsumsi pada tahun 2030 (Ton/tahun)

Dengan perhitungan yaitu:

- a. Perkiraan Nilai Impor (m₅) pada tahun 2030

$$m_5 = P \times (1 + i)^n$$

$$m_5 = 70,509.40 \times (1 + 35.317\%)^{(2030-2024)}$$

$$m_5 = 70,509.40 \times (1 + 0.35317)^{(6)}$$

$$m_5 = 70,509.40 \times (1.35317)^{(6)}$$

$$m_5 = 432,872.04 \text{ ton/tahun}$$

b. Perkiraan Nilai Ekspor (m_4) pada tahun 2030

$$m_4 = P \times (1 + i)^n$$

$$m_4 = 2,005.95 \times (1 + (-25.589\%))^{(2030-2024)}$$

$$m_4 = 2,005.95 \times (1 - 0.25589)^{(6)}$$

$$m_4 = 2,005.95 \times (0.7641)^{(6)}$$

$$m_4 = 399.24 \text{ ton/tahun}$$

c. Menghitung Peluang Kapasitas Berdasarkan Prediksi Data Ekspor dan Impor pada Tahun 2030

$$*m_2 = 137.000 \text{ ton/tahun}$$

*Terdapat pabrik di Indonesia yaitu Chanda Asri yang memproduksi 1,3-Butadiene yaitu sekitar 137.000 ton/tahun tiap tahun nya

$$m_3 = (m_4 + m_5) - (m_1 + m_2)$$

$$m_3 = (399.24 \text{ ton/tahun} + 432,872.04 \text{ ton/tahun}) - (0 + 137.000 \text{ ton/tahun})$$

$$m_3 = 296,271 \text{ ton/tahun}$$

d. Menghitung Kapasitas Produksi pada Tahun 2030

Untuk menghitung kapasitas produksi yaitu hasil dari m_3 /peluang kapasitas dikalikan dengan 0.5 dikarenakan sudah ada pabrik di Indonesia yang memproduksi 1,3-Butadiena yaitu Chandra Asri, Sehingga:

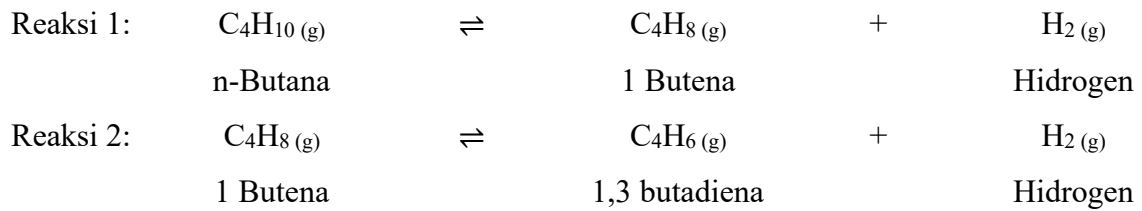
$$\text{Kapasitas Produksi} = 296,271 \text{ ton/tahun} \times 0.5$$

$$= 148,135.64 \text{ ton/tahun} \approx 150,000 \text{ ton/tahun}$$

1.2.3. Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku utama yang digunakan dalam proses produksi 1,3-butadiena adalah n-butana. Pasokan n-butana direncanakan berasal dari PT Pertamina RU VI Balongan, Jawa Barat, yang memiliki kapasitas produksi sekitar 700 ton per hari atau setara dengan 252.000 ton per tahun. Untuk mendukung efisiensi operasional, pabrik 1,3-butadiena direncanakan berlokasi di kawasan Cilegon. Pemilihan lokasi ini mempertimbangkan kemudahan akses terhadap sumber bahan baku, kelancaran distribusi produk, serta upaya meminimalkan dampak risiko lingkungan dan sosial. Penentuan kebutuhan n-butana sebagai bahan baku dilakukan melalui

perhitungan stoikiometri berdasarkan kapasitas produksi pabrik yang direncanakan dalam satuan ton per tahun. Sehingga kebutuhan n-butana dihitung sebagai berikut:



1.3. Penentuan Lokasi Pabrik

Dalam penentuan lokasi pabrik, diperlukan pemahaman terhadap beberapa aspek yang berkaitan dengan karakteristik proses produksi 1,3-butadiena. Salah satu aspek penting yang harus dianalisis adalah klasifikasi pabrik berdasarkan perubahan bobot material selama proses berlangsung, yaitu apakah pabrik termasuk ke dalam kategori *weight loss* atau *weight gain*. Klasifikasi ini berperan sebagai dasar dalam menentukan lokasi pabrik yang paling efisien dari segi logistik dan biaya transportasi.

- *Weight Loss*

Pabrik dengan karakteristik *weight loss* merupakan pabrik yang menghasilkan produk dengan massa yang lebih kecil dibandingkan dengan total massa bahan baku yang digunakan. Kondisi ini umumnya disebabkan oleh pelepasan komponen ringan selama proses produksi. Oleh karena itu, untuk pabrik dengan karakteristik *weight loss*, lokasi pabrik sebaiknya ditempatkan dekat dengan sumber bahan baku guna menekan biaya pengangkutan bahan baku yang relatif lebih besar volumenya.

- *Weight Gain*

Sebaliknya, pabrik dengan karakteristik *weight gain* menghasilkan produk dengan bobot yang lebih besar dibandingkan bahan bakunya. Peningkatan massa ini biasanya terjadi akibat penambahan bahan pendukung atau komponen lain selama proses produksi. Pada kondisi tersebut, pabrik cenderung lebih menguntungkan apabila dibangun di dekat daerah pemasaran atau konsumen, karena bahan baku umumnya mudah diperoleh di berbagai lokasi dan biaya distribusi produk akhir menjadi faktor yang lebih dominan.

Penetapan lokasi pabrik dilakukan dengan mempertimbangkan berbagai faktor utama, antara lain ketersediaan bahan baku, kemudahan akses terhadap utilitas, ketersediaan tenaga kerja, kedekatan dengan pasar, serta peluang pengembangan kawasan pabrik di masa mendatang. Berdasarkan hasil evaluasi terhadap faktor-faktor tersebut, ditetapkan bahwa pabrik 1,3-butadiena direncanakan berlokasi di kawasan industri Cilegon. Berdasarkan kajian wilayah,

area tersebut masih memiliki lahan yang dapat dimanfaatkan sebagai lokasi pembangunan pabrik, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.1



Gambar 1. 1. Lokasi Pendirian Pabrik 1,3-Butadiena di Kawasan Cilegon, Banten

1.3.1. Sumber Bahan Baku

Lokasi pabrik 1,3-butadiena direncanakan berada di kawasan industri Cilegon, yang secara geografis memiliki kedekatan relatif dengan sumber bahan baku utama, yaitu n-butana yang dipasok dari PT Pertamina RU VI Indramayu. Kedekatan ini menjadi pertimbangan penting karena dapat menekan biaya transportasi bahan baku serta mengurangi waktu pengiriman, sehingga kontinuitas pasokan ke pabrik dapat terjaga dengan baik. N-butana merupakan fraksi hidrokarbon yang dihasilkan dari proses pengolahan minyak bumi dan gas di kilang RU VI, sehingga ketersediaannya relatif stabil dan sesuai untuk mendukung operasi pabrik dalam jangka panjang.

Selain faktor kedekatan dengan sumber bahan baku, kawasan industri Cilegon juga memiliki keunggulan dari sisi infrastruktur logistik. Lokasi ini berdekatan dengan Pelabuhan Merak yang berperan penting dalam mendukung distribusi bahan baku maupun produk akhir, baik untuk kebutuhan domestik maupun potensi ekspor. Didukung oleh jaringan jalan raya dan akses transportasi darat yang memadai, sistem pengangkutan n-butana dari Indramayu ke Cilegon serta distribusi 1,3-butadiena ke industri hilir dapat dilakukan secara efisien dan terintegrasi.

Cilegon juga dikenal sebagai salah satu pusat industri petrokimia nasional yang telah ditetapkan oleh pemerintah, sehingga memiliki ketersediaan lahan industri, utilitas pendukung,

serta infrastruktur penunjang yang lengkap. Keberadaan industri sejenis di kawasan ini memungkinkan terciptanya integrasi industri hulu dan hilir, khususnya dengan industri karet sintetis dan petrokimia lainnya yang membutuhkan 1,3-butadiena sebagai bahan baku. Dengan mempertimbangkan aspek ketersediaan bahan baku, efisiensi logistik, infrastruktur, serta potensi pengembangan industri di masa depan, kawasan industri Cilegon dinilai sebagai lokasi yang strategis dan layak untuk pendirian pabrik 1,3-butadiena berbasis n-butana.

1.3.2. Sarana dan Transportasi

Kawasan industri Cilegon memiliki sistem sarana dan transportasi yang sangat mendukung operasional pabrik petrokimia, termasuk pabrik produksi 1,3-butadiena berbasis n-butana. Dari sisi transportasi darat, Cilegon terhubung langsung dengan jaringan jalan nasional dan jalan tol utama di Pulau Jawa bagian barat, seperti akses ke Tol Jakarta–Merak. Infrastruktur ini memungkinkan pengangkutan bahan baku n-butana dari kilang PT Pertamina RU VI menuju lokasi pabrik dengan waktu tempuh yang relatif singkat dan biaya logistik yang terkendali. Akses jalan yang memadai juga mendukung distribusi produk 1,3-butadiena ke industri hilir, baik di kawasan Banten, Jabodetabek, maupun wilayah industri lainnya.

Dari sisi transportasi laut, kawasan industri Cilegon memiliki kedekatan dengan Pelabuhan Merak serta sejumlah pelabuhan industri di sekitarnya. Keberadaan pelabuhan ini sangat penting bagi industri petrokimia karena memungkinkan pengiriman bahan baku maupun produk dalam jumlah besar menggunakan moda laut, yang secara ekonomi lebih efisien untuk komoditas kimia curah. Untuk pabrik 1,3-butadiena, fasilitas pelabuhan ini dapat dimanfaatkan baik untuk penerimaan bahan baku tambahan apabila diperlukan maupun untuk distribusi produk ke pasar ekspor.

Selain sarana transportasi, kawasan industri Cilegon juga didukung oleh infrastruktur penunjang industri petrokimia, seperti jaringan pipa, fasilitas penyimpanan (storage tank), serta utilitas kawasan yang terintegrasi. Ketersediaan utilitas seperti listrik, air industri, dan sistem penanganan bahan kimia berbahaya menjadi faktor penting dalam operasional pabrik 1,3-butadiena yang memerlukan standar keselamatan dan kontinuitas operasi yang tinggi. Keberadaan industri petrokimia lain di kawasan ini juga membuka peluang integrasi logistik dan sinergi antarindustri.

Secara keseluruhan, sarana dan sistem transportasi yang tersedia di kawasan industri Cilegon memberikan keuntungan strategis bagi pendirian pabrik 1,3-butadiena. Akses darat yang baik, dukungan transportasi laut melalui pelabuhan, serta infrastruktur industri yang

lengkap menjadikan kawasan ini mampu menunjang kelancaran pasokan bahan baku n-butana, efisiensi distribusi produk, dan keberlanjutan operasi pabrik dalam jangka panjang.

1.3.3. Tenaga Kerja

Kawasan industri Cilegon memiliki ketersediaan tenaga kerja yang memadai untuk mendukung operasional pabrik 1,3-butadiena. Hal ini didukung oleh keberadaan berbagai industri petrokimia, baja, dan manufaktur skala besar yang telah lama beroperasi di wilayah tersebut, sehingga tenaga kerja lokal umumnya telah terbiasa dengan lingkungan kerja industri proses. Selain itu, kedekatan Cilegon dengan wilayah Banten dan Jabodetabek memudahkan pemenuhan kebutuhan tenaga kerja, baik tenaga kerja terampil (operator, teknisi, dan analis laboratorium) maupun tenaga kerja non-terampil.

1.3.4. Pemasaran Produk

Orientasi pemasaran produk 1,3-butadiena difokuskan pada wilayah Banten dan sekitarnya, mengingat kawasan ini merupakan pusat industri petrokimia dan karet sintesis di Indonesia. Di wilayah tersebut terdapat berbagai industri yang menggunakan 1,3-butadiena sebagai bahan baku utama maupun bahan pencampur, khususnya untuk produksi karet sintesis. Salah satu konsumen utama adalah PT Synthetic Rubber Indonesia yang memanfaatkan 1,3-butadiena dalam pembuatan *polybutadiene rubber* dan *styrene butadiene rubber*. Selain itu, beberapa industri lain seperti PT Indorama Polypet Indonesia, PT Bama Putra Sarana Plastindo, PT Bina Relasi Plastindo, dan PT Prima Plasticsindo juga memerlukan 1,3-butadiena sebagai bahan baku dalam pembuatan plastik ABS.

Kedekatan lokasi pabrik dengan target pasar memberikan keuntungan dari sisi distribusi, karena mampu menurunkan biaya transportasi, mempercepat waktu pengiriman, serta meningkatkan keandalan pasokan bahan baku ke industri hilir. Selain produk utama, proses produksi 1,3-butadiena juga menghasilkan produk samping berupa 1-butena yang memiliki nilai ekonomi dan peluang pasar tersendiri. Produk samping ini dapat dipasarkan ke industri petrokimia lain di kawasan Cilegon, seperti PT Lotte Chemical Indonesia, untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam proses produksi polyethylene. Hal ini menunjukkan bahwa pendirian pabrik tidak hanya menguntungkan dari sisi produk utama, tetapi juga dari pemanfaatan produk samping secara optimal.

Selain melayani pasar regional, pabrik 1,3-butadiena juga memiliki potensi untuk memenuhi kebutuhan pasar nasional. Permintaan 1,3-butadiena secara nasional terus meningkat seiring dengan pertumbuhan industri otomotif, ban, plastik teknik, dan petrokimia hilir, sementara pasokan dalam negeri masih terbatas dan sebagian besar dipenuhi melalui impor.

Dengan kapasitas produksi sekitar 150.000 ton per tahun, pabrik yang direncanakan di kawasan industri Cilegon diharapkan mampu menggantikan sebagian impor, memperkuat rantai pasok industri nasional, serta meningkatkan kemandirian pasokan bahan baku petrokimia. Kapasitas tersebut dinilai memadai untuk memenuhi kebutuhan domestik secara bertahap dan tetap memberikan fleksibilitas pemasaran ke luar negeri apabila diperlukan.

1.3.5. Utilitas

Utilitas utama yang diperlukan dalam operasional pabrik meliputi tenaga listrik, air, dan udara. Lokasi pabrik direncanakan berada pada jarak sekitar 500 meter dari tepi Waduk Nadra Krenceng, yang berfungsi sebagai penampungan air dari Rawa Danau, sehingga kebutuhan air untuk utilitas dapat dipenuhi dari sumber air waduk tersebut. Pasokan tenaga listrik direncanakan berasal dari jaringan PLN UPT Cilegon yang berlokasi sekitar 1,35 km dari area pabrik, serta dilengkapi dengan unit generator pembangkit listrik internal sebagai cadangan guna menjamin keandalan suplai listrik. Sementara itu, kebutuhan bahan bakar untuk menunjang operasi pabrik diperoleh dari PT Pertamina RU VI Balongan yang berperan sebagai pemasok bahan bakar LPG.

1.3.6. Kebijakan Pemerintah di Lokasi Pabrik

Kebijakan pemerintah menjadi salah satu pertimbangan penting dalam penentuan lokasi pendirian pabrik 1,3-butadiena. Kawasan industri Cilegon telah ditetapkan oleh pemerintah sebagai wilayah pengembangan industri berat dan petrokimia, sehingga memiliki dukungan regulasi yang relatif kondusif bagi pendirian pabrik kimia skala besar. Pemerintah pusat maupun daerah mendorong pengembangan industri petrokimia melalui penyediaan kawasan industri terpadu, kemudahan perizinan usaha, serta penguatan infrastruktur pendukung seperti utilitas, transportasi, dan pelabuhan. Selain itu, kebijakan substitusi impor dan peningkatan nilai tambah sumber daya dalam negeri juga menjadi landasan kuat bagi pengembangan pabrik 1,3-butadiena, mengingat produk ini masih banyak dipenuhi dari impor. Dari sisi lingkungan dan keselamatan, pemerintah juga menetapkan regulasi yang ketat terkait pengelolaan limbah, emisi, dan keselamatan kerja, sehingga mendorong perancangan pabrik yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Dengan adanya dukungan kebijakan industri, kepastian tata ruang, serta kerangka regulasi yang jelas, kawasan industri Cilegon dinilai sesuai dan strategis untuk pendirian pabrik 1,3-butadiena dalam jangka panjang.

1.3.7. Perluasan Pabrik

Pendirian pabrik perlu mempertimbangkan rencana pengembangan area dalam jangka panjang, yakni 10 hingga 20 tahun ke depan. Hal ini bertujuan agar apabila di masa mendatang dibutuhkan perluasan, proses penambahan lahan dapat dilakukan tanpa hambatan.

Tabel 1. 3. Perbandingan Pemilihan Lokasi Beberapa Daerah

Parameter	Lokasi		
	Cilegon, Banten	Bontang, Kalimantan Timur	Gresik, Jawa Timur
Sumber Bahan Baku	Dekat dengan sumber n-butana dari kilang Pertamina RU VI Indramayu; akses logistik relatif singkat dan stabil	Bahan baku hidrokarbon tersedia, namun tidak spesifik untuk n-butana dan bergantung distribusi antarpulau	Bahan baku tersedia dari kawasan industri, namun jarak dari sumber n-butana lebih jauh
Sarana dan Transportasi	Infrastruktur sangat lengkap: jalan nasional, tol Jakarta–Merak, pelabuhan laut, serta fasilitas industri petrokimia	Transportasi laut memadai, namun akses darat dan integrasi logistik masih terbatas	Transportasi darat dan laut baik, tetapi kepadatan lalu lintas relatif tinggi
Tenaga Kerja	Tenaga kerja industri melimpah dan berpengalaman di sektor petrokimia dan industri berat	Ketersediaan tenaga kerja industri terbatas dan membutuhkan pelatihan lebih lanjut	Tenaga kerja cukup tersedia, namun persaingan dengan industri lain cukup tinggi
Pemasaran Produk	Sangat dekat dengan pasar utama karet sintesis dan plastik di Banten dan Jabodetabek	Pasar lokal terbatas dan bergantung pada distribusi ke luar daerah	Pasar cukup luas di Jawa Timur, namun lebih jauh dari konsumen utama Banten
Utilitas	Utilitas lengkap dan andal: listrik industri,	Utilitas tersedia namun	Utilitas memadai, namun kapasitas

Parameter	Lokasi		
	Cilegon, Banten	Bontang, Kalimantan Timur	Gresik, Jawa Timur
	air, bahan bakar, serta jaringan utilitas kawasan	sepenuhnya terintegrasi petrokimia besar	kawasan terbatas oleh kepadatan industri
Kebijakan Pemerintah	Ditetapkan sebagai kawasan industri petrokimia dengan dukungan regulasi infrastruktur	Didukung sebagai kawasan industri energi, namun fokus utama petrokimia hilir	Kawasan industri berkembang, namun bukan pusat petrokimia nasional
Perluasan Pabrik	Masih tersedia lahan industri untuk ekspansi di masa depan	Ketersediaan lahan ada, namun terbatas oleh peruntukan kawasan	Lahan terbatas dan harga relatif tinggi

Berdasarkan hasil perbandingan beberapa alternatif lokasi pendirian pabrik sebagaimana disajikan pada Tabel 1.3, dapat disimpulkan bahwa kawasan industri Cilegon, Banten, merupakan lokasi yang paling memenuhi kriteria teknis, ekonomis, dan operasional untuk pendirian pabrik 1,3-butadiena. Keunggulan Cilegon terlihat dari kedekatannya dengan sumber bahan baku n-butana, ketersediaan sarana dan prasarana transportasi yang lengkap, serta kemudahan akses terhadap pasar utama industri karet sintetis dan petrokimia hilir. Selain itu, ketersediaan utilitas yang andal dan terintegrasi serta dukungan kebijakan pemerintah terhadap pengembangan industri petrokimia menjadikan kawasan ini memiliki tingkat kesiapan yang lebih tinggi dibandingkan alternatif lokasi lainnya.

Dengan mempertimbangkan karakteristik proses produksi 1,3-butadiena yang termasuk dalam kategori *weight loss*, penempatan pabrik di dekat sumber bahan baku dan kawasan industri terpadu menjadi faktor yang sangat menentukan efisiensi operasional. Ketersediaan tenaga kerja industri yang memadai serta peluang perluasan pabrik di masa mendatang juga menjadi nilai tambah kawasan industri Cilegon. Oleh karena itu, berdasarkan evaluasi menyeluruh terhadap seluruh parameter lokasi, kawasan industri Cilegon ditetapkan sebagai

lokasi paling strategis dan layak untuk pendirian pabrik 1,3-butadiena dengan kapasitas produksi sekitar 150.000 ton per tahun.

1.4. Tinjauan Proses

Tinjauan proses merupakan bagian awal yang bertujuan memberikan gambaran umum mengenai produksi 1,3-butadiena, baik dari sisi metode pembuatannya, pemanfaatan produk, maupun karakteristik sifat fisik dan kimianya. Pemahaman terhadap aspek-aspek tersebut diperlukan sebagai dasar dalam perancangan pabrik, karena akan memengaruhi pemilihan proses, kondisi operasi, perancangan peralatan, serta sistem penanganan dan penyimpanan produk. Oleh karena itu, pada bagian ini dibahas berbagai macam proses pembuatan 1,3-butadiena yang telah dikembangkan, kegunaan produk dalam industri, serta sifat fisik dan kimia yang relevan terhadap perancangan dan pengoperasian pabrik.

1.4.1. Macam-Macam Proses Dalam Produksi Butadiena Dari N-Butana

Terdapat beberapa metode yang digunakan dalam produksi 1,3-butadiena yang dimana diantara metode tersebut yaitu:

1. Dehidrogenasi Katalitik N-Butana (Houdry)

Proses Houdry merupakan salah satu metode yang paling banyak digunakan secara industri untuk memproduksi 1,3-butadiena dari n-butana melalui reaksi dehidrogenasi katalitik. Pada proses ini, n-butana diubah menjadi 1,3-butadiena melalui dua tahap reaksi berturut-turut, yaitu dehidrogenasi n-butana menjadi butena, yang kemudian dilanjutkan dengan dehidrogenasi butena menjadi 1,3-butadiena, dengan hidrogen sebagai produk samping pada setiap tahap reaksi. Reaksi berlangsung pada suhu tinggi, umumnya berkisar antara 500–650 °C, dan tekanan mendekati tekanan atmosfer, sehingga dapat mendorong reaksi endotermik berlangsung secara efektif (Othmer, 1964).

Reaksi dehidrogenasi tersebut dilakukan di dalam reaktor fixed bed multitube yang diisi dengan katalis kromium oksida berpenyangga alumina ($\text{CrO}_x/\text{Al}_2\text{O}_3$). Katalis ini dipilih karena memiliki stabilitas termal yang baik, aktivitas tinggi dalam memutus ikatan C–H, serta selektivitas yang cukup tinggi terhadap pembentukan 1,3-butadiena. Selama operasi, katalis secara bertahap akan mengalami penurunan aktivitas akibat pembentukan kokas di permukaan katalis. Oleh karena itu, proses Houdry dioperasikan secara siklik, yaitu dengan pergantian antara tahap reaksi dan tahap regenerasi katalis menggunakan udara atau gas oksidator untuk menghilangkan kokas (Othmer, 1964).

Reaksi yang terjadi:



2. Pirolisis Hidrokarbon

Pirolisis hidrokarbon merupakan proses pembentukan 1,3-butadiena yang berlangsung melalui perengkahan termal hidrokarbon pada suhu sangat tinggi tanpa menggunakan katalis. Dalam proses ini, hidrokarbon ringan maupun berat seperti etana, propana, n-butana, atau nafta dipanaskan pada temperatur sekitar 800–900 °C sehingga ikatan C–C dan C–H terputus secara acak. Akibatnya, terbentuk campuran produk berupa olefin ringan seperti etilena, propilena, butena, serta senyawa diena termasuk 1,3-butadiena. Pada proses ini, 1,3-butadiena bukan merupakan produk utama, melainkan dihasilkan sebagai produk samping dari reaksi perengkahan hidrokarbon (Othmer, 1964).

Karakteristik utama pirolisis hidrokarbon adalah selektivitas yang relatif rendah terhadap 1,3-butadiena karena reaksi berlangsung tanpa katalis dan tidak terarah. Produk yang dihasilkan berupa campuran kompleks sehingga memerlukan tahapan pemisahan yang panjang dan rumit untuk memperoleh 1,3-butadiena dengan kemurnian tinggi. Selain itu, konsumsi energi proses ini sangat besar akibat suhu operasi yang tinggi, serta berpotensi menghasilkan pembentukan kokas yang dapat menurunkan efisiensi peralatan. Meskipun demikian, pirolisis hidrokarbon banyak diterapkan dalam industri petrokimia terintegrasi, khususnya pada pabrik steam cracking, di mana 1,3-butadiena diperoleh sebagai produk samping dari produksi olefin utama.

3. Dehidrogenasi Etanol

Proses yang terjadi pada produksi 1,3-Butadiena dari etanol yaitu terdapat 2 rangkaian dalam proses nya, yang dimana:

- a. Dehidrogenasi etanol menjadi asetaldehida:



- b. Reaksi antara etanol yang tidak bereaksi dengan asetaldehida:



Tahap awal proses diawali dengan umpan etanol berkonsentrasi sekitar 96% yang dialirkan ke dalam unit vaporizer untuk mengubah etanol cair menjadi fase uap. Uap etanol selanjutnya dialirkan ke reaktor tahap pertama yang menggunakan katalis berbasis tembaga, di mana terjadi reaksi dehidrogenasi etanol menjadi asetaldehid. Reaksi ini menghasilkan *yield* dehidrogenasi sekitar 92%. Asetaldehid yang terbentuk kemudian direaksikan lebih lanjut dengan etanol berlebih yang berasal dari reaktor pertama, dengan perbandingan molar etanol terhadap asetaldehid yang masuk ke reaktor kedua sebesar 3:1.

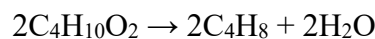
Reaktor tahap kedua menggunakan katalis tantalum–silika, yaitu silika gel yang mengandung sekitar 2% tantalum pentoksida (Ta_2O_5). Reaktor ini dioperasikan pada tekanan

atmosfer dengan rentang suhu operasi sekitar 325–350 °C. Pada tahap ini berlangsung reaksi lanjutan yang menghasilkan 1,3-butadiena dengan total *yield* proses berkisar antara 28–30%. Produk akhir yang mengandung 1,3-butadiena kemudian dimurnikan melalui proses distilasi untuk memperoleh butadiena dengan kemurnian yang diinginkan.

4. Proses Philips

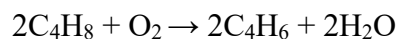
Proses Philips merupakan salah satu metode konversi butana menjadi 1,3-butadiena yang dilakukan dengan bantuan katalis. Pada proses ini, butana digunakan sebagai umpan utama dan dikonversi melalui rangkaian reaksi yang melibatkan tahap oksidasi dan dehidrogenasi. Secara umum, proses produksi 1,3-butadiena dengan metode ini terdiri atas beberapa tahapan, yaitu persiapan bahan baku, tahap reaksi, pemisahan, serta pemurnian produk akhir yang dihasilkan (Wibowo, 2012).

Reaksi Utama:



Reaksi utama dalam proses Philips berlangsung di dalam reaktor pada suhu sekitar 621 °C dan tekanan rendah, yaitu sekitar 0,2 atm. Pada kondisi tersebut, reaksi berlangsung dengan bantuan katalis kromia–alumina yang berfungsi meningkatkan laju reaksi dan konversi butana. Konversi reaksi utama yang dicapai pada tahap ini relatif tinggi, yaitu sekitar 90%, sehingga menghasilkan senyawa antara berupa butena dan air sebagai hasil samping (Wibowo, 2012).

Reaksi Kedua:



Tahap selanjutnya melibatkan reaksi lanjutan yang juga berlangsung pada suhu tinggi, dengan tekanan operasi mendekati tekanan atmosfer. Pada tahap ini, konversi reaksi berada pada kisaran 30%. Setelah reaksi selesai, campuran produk yang dihasilkan tidak langsung dimurnikan, melainkan terlebih dahulu dilakukan pemisahan untuk memisahkan 1,3-butadiena dari senyawa lain yang masih terbawa. Proses pemurnian dilakukan melalui pencucian menggunakan air pendingin, di mana air akan keluar sebagai aliran bawah (*bottom*), sedangkan 1,3-butadiena yang telah dimurnikan diperoleh sebagai aliran atas (*top*) (Wibowo, 2012).

1.4.2. Sifat Fisik dan Kimia

1.4.2.1. Sifat Fisik dan Kimia Bahan Baku

1. N-Butana

Menurut Kirk (2004), sifat fisika dan kimia pada n-butana yaitu:

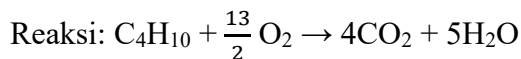
- Sifat Fisika

Rumus molekul : C_4H_{10}

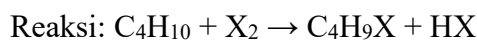
Berat molekul	: 58,124 gr/gr mol
Fase	: gas pada P = 1 atm, T = 30°C
Titik beku	: -138,4 °C
Titik didih	: -0,5 °C
Specific gravity pada 20°C	: 0,5788
Densitas	: 2,52 g/l
Temperatur kritis	: 152 °C
Tekanan kritis	: 550,07 psia
Volume kritis	: 0,0702 ft ³ /lb
Panas pembakaran	: 21,12 Btu/lb (pada 77 °F)
Panas laten (pada 25 °C)	: 86,63 kal/g
Panas spesifik	: 0,549 kal/g °C

- Sifat Kimia

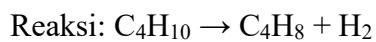
a. Dengan O₂ berlebih mengalami reaksi pembakaran membentuk H₂O dan CO₂



b. Dengan halogen mengalami reaksi substitusi membentuk halida.



c. Pada pemanasan suhu tinggi terjadi reaksi dehidrogenasi.



2. 1-Butena

Menurut Faith (1950), sifat fisika dan kimia 1-butena yaitu:

- Sifat Fisika

Rumus molekul	: C ₄ H ₈
Berat molekul	: 56,107 gr/gr mol
Fase	: gas pada P, = 1 atm, T = 30°C
Titik beku	: -185,35°C
Titik didih	: 6,25 °C
Specific gravity pada 20°C	: 0,5788
Densitas	: 2,52 g/l
Temperatur kritis	: 146,44 °C
Tekanan kritis	: 550,07 psia
Volume kritis	: 0,0702 ft ³ /lb
Panas pembakaran	: 21,12 Btu/lb (pada 77 °F)

Panas laten (pada 25 °C)	: 86,63 kal/g
Panas spesifik	: 0,549 kal/g °C

1.4.2.2. Sifat Fisika dan Kimia Bahan Pembantu

Menurut Faith (1950), sifat fisika dan kimia CrOx/Al₂O₃ yaitu:

Bentuk	: Padatan berpoti
Fase	: Padat (katalis heterogen)
Densitas	: 3.2 – 3.8 g/cm ³
Komposisi	: 20% CrOx, 80% Al ₂ O ₃

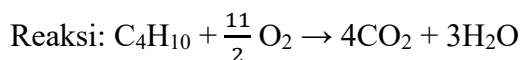
1.4.2.3. Sifat Fisika dan Kimia Produk

Menurut Kirk (2004), sifat fisika dan kimia pada 1,3-Butadiena yaitu:

Rumus molekul	: C ₄ H ₆
Berat molekul	: 54,092 gr/gr mol
Fase	: gas pada P = 1 atm, T = 30°C
Titik beku	: -108,902 °C
Titik didih	: -4,411 °C
Specific gravity pada 20 °C	: 0,6194
Temperatur kritis	: 152 °C
Tekanan kritis	: 42,7 atm
Volume kritis	: 221 cm ³ /mol
Panas pembakaran pada 25 °C	: 21,12 Btu/lb (pada 77 °F)
Panas pembakaran liquid	: 88,7 kJ/mol
Panas pembentukan gas	: 110,165 kJ/mol
Panas penguapan pada 25 °C	: 389 J/g
Kapasitas panas pada 25 °C	: 79,538 J/mol K
Kelarutan butadiena dalam air	: 0,06% berat

- Sifat Kimia

- a. Dengan O₂ berlebih mengalami reaksi pembakaran membentuk H₂O dan CO₂.



- b. Monomer butadiene dan monomer lain dapat bereaksi membentuk polimer. Misalnya butadiene dengan akrilonitril membentuk polimer acrylonitrile-butadiene copolymers (nitrile-butadiene rubber) dengan cara polimerisasi emulsi.

1.4.3. Kegunaan 1,3-Butadiena

Salah satu kegunaan utama 1,3-butadiena adalah sebagai bahan baku dalam pembuatan karet sintetis dan elastomer, seperti *Acrylonitrile Butadiene Styrene Rubber* (ABS) dan *polybutadiene rubber* (PBR). Karet sintetis berbasis butadiena banyak digunakan pada industri otomotif, khususnya untuk pembuatan ban, komponen kendaraan, serta berbagai produk teknik lainnya karena memiliki sifat elastisitas dan ketahanan mekanik yang baik (Ullmann's, 2012).

Selain itu, 1,3-butadiena juga memiliki peran penting sebagai bahan baku dalam pembuatan *Hydroxy Terminated Polybutadiene* (HTPB) yang digunakan sebagai pengikat (*binder*) pada propelan roket. Produk ini memiliki nilai strategis tinggi karena digunakan dalam industri pertahanan dan kedirgantaraan. Permintaan terhadap butadiena cenderung meningkat seiring dengan pertumbuhan industri karet alam dan sintetis, di mana karet sintetis sering digunakan sebagai alternatif yang lebih stabil dan terjangkau (Kent & Riegel's, 2007).

Dalam industri kimia, 1,3-butadiena juga dimanfaatkan sebagai bahan intermediate dalam berbagai proses sintesis. Senyawa ini digunakan dalam industri polimer, resin, serta sebagai bahan baku dalam produksi adiponitril. Pada industri plastik, butadiena berperan dalam meningkatkan fleksibilitas dan ketangguhan produk plastik. Selain itu, 1,3-butadiena digunakan dalam pembuatan *sulfolane* melalui reaksi dengan sulfur dioksida, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai pelarut selektif dalam proses pemisahan hidrokarbon aromatik (Othmer, 2005).

Lebih lanjut, 1,3-butadiena juga dimanfaatkan dalam industri kimia sebagai bahan baku pembuatan senyawa kimia lain, seperti *4-vinylcyclohexene* melalui reaksi dimerisasi dan *cyclododecatriene* melalui reaksi trimerisasi. Senyawa-senyawa tersebut digunakan sebagai intermediate dalam pembuatan nilon, deterjen, dan bahan kimia khusus lainnya. Selain aplikasi industri berat, turunan 1,3-butadiena juga digunakan dalam pembuatan produk kosmetik dan bahan aditif tertentu, sehingga menjadikan 1,3-butadiena sebagai senyawa antara yang memiliki nilai ekonomi dan aplikasi industri yang luas (Wibowo, 2012).