

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri kimia organik adalah bagian penting dari ekonomi dunia, menyediakan bahan-bahan *intermediate* serta dasar bagi berbagai sektor manufaktur. Permintaan yang meningkat dari banyak negara mendorong pertumbuhan sektor ini, dengan perkiraan laju pertumbuhannya mencapai 3-4% setiap tahun selama sepuluh tahun ke depan. Salah satu sektor kimia di Indonesia yang hingga kini belum mampu memenuhi permintaan lokal adalah sektor N-butil asetat.

N-butil asetat (n-BuAc) adalah senyawa ester organik dengan rumus kimia $C_6H_{12}O_2$ dan berat molekul 116,16 g/mol yang terbentuk dari reaksi antara N-butanol dan asam asetat. Sebagai pelarut organik yang jernih dan tidak berwarna, N-butil asetat memiliki sifat unggul sebagai pelarut yang dapat melarutkan selulosa, polimer, resin, dan minyak dengan baik, dengan tingkat volatilitas yang sedang serta toksisitas yang lebih rendah dibanding pelarut aromatik konvensional seperti toluena dan xilena (Sato et al., 2022). Sifat fisikokimia ini menjadikan N-butil asetat pilihan utama di berbagai sektor industri, terutama sebagai pelarut dalam pembuatan cat dan pelapis, perekat dan sealant, serta dalam bidang farmasi dan kosmetik (Ma et al., 2024). Penggunaan N-butil asetat sebagai alternatif yang lebih baik untuk toluena, xilena, dan pelarut berbahaya lainnya semakin diminati oleh banyak orang, menunjukkan bahwa ada potensi pasar yang besar untuk produk ini.

Indonesia sebagai negara dengan ekonomi terbesar di Asia Tenggara dan populasi sebanyak 270 juta orang menunjukkan pertumbuhan ekonomi yang signifikan dengan rata-rata 4-5% setiap tahun antara 2015 dan 2023 (BPS, 2024). Pertumbuhan ini mendorong perkembangan yang berkelanjutan di berbagai sektor industri pembuatan yang membutuhkan banyak bahan kimia organik. Ekonomi yang kuat ini menyebabkan meningkatnya kebutuhan akan bahan baku dan bahan kimia antara yang berkualitas tinggi. Namun, Indonesia masih sangat tergantung pada impor bahan kimia organik dasar, dengan total impor barang non-minyak dan gas dari Januari hingga September 2025 mencapai USD 142,4 miliar, di mana sebagian besar berasal dari bahan kimia organik seperti ester dan pelarut (BPS, 2025). Ketergantungan ini tidak hanya membebani neraca pembayaran negara, tetapi juga membuat industri hilir mudah terpengaruh oleh perubahan harga di pasar internasional dan risiko gangguan pada rantai pasokan global yang semakin meningkat setelah pandemi.

Analisis struktur pasar menunjukkan bahwa N-butil asetat di Indonesia masih sangat bergantung pada impor dari produsen global terkemuka seperti Cina, India, Eropa, dan Amerika Serikat. Struktur pasar global bersifat oligopolistik dan didominasi oleh perusahaan multinasional besar seperti Eastman Chemical dan BASF, menghasilkan ketergantungan terhadap pemasok internasional. Ketiadaan produsen lokal yang signifikan menciptakan kekosongan di pasar yang jelas dan membuka peluang strategis bagi investor baru. Membangun pabrik lokal tidak hanya akan meningkatkan keamanan pasokan bagi industri hilir dengan mengurangi ketergantungan pada pemasok luar negeri, tetapi juga mengurangi volatilitas harga yang dipicu oleh fluktuasi nilai tukar, gangguan rantai pasokan global, dan hambatan perdagangan internasional.

Proses *Reactive distillation* (RD) adalah metode yang telah terbukti lebih baik daripada metode biasa untuk membuat N-butil asetat. *Reactive distillation* menggabungkan reaksi kimia dan pemisahan dalam satu proses yang terintegrasi, memberikan keuntungan besar dalam efisiensi dan biaya operasional (Zhao et al., 2022). Reaksi antara N-butanol dan asam asetat bersifat dapat kembali dan dipengaruhi oleh kesetimbangan termodinamika, sehingga dengan destilasi reaktif, produk ester dan air dapat terus-menerus dihapus dari area reaksi, yang mengakibatkan kesetimbangan bergeser menuju pembentukan produk dan menghasilkan konversi asam asetat yang tinggi (Wiratama et al., 2025).

Indonesia memiliki pondasi yang kuat untuk mengembangkan industri N-butil asetat berbasis N-butanol. Ketersediaan N-butanol dari pabrik PT Petro Oxo Nusantara di Gresik dengan kapasitas produksi N-butanol mencapai 35.000 ton per tahun memastikan supply bahan baku yang reliable dengan biaya kompetitif (PT Petro Oxo Nusantara, 2023), serta akses mudah ke impor dari pasar global yang telah terjamin, memberikan pasokan yang dapat diandalkan dengan biaya kompetitif. Selain itu, biaya tenaga kerja dan utilitas di Indonesia jauh lebih rendah dibandingkan negara maju, menciptakan keuntungan biaya yang signifikan. Zona industri yang telah berkembang di berbagai lokasi strategis, terutama di Jawa, memberikan akses penuh ke utilitas (uap, air pendingin, listrik) dan sistem logistik yang efisien. Posisi geografis Indonesia yang terletak di tengah Asia Pasifik juga menawarkan keuntungan distribusi untuk melayani pasar domestik dan regional secara lebih efisien. Meski Indonesia memiliki potensi besar untuk produksi N-butil asetat, kapasitas lokal saat ini masih terbatas. Saat ini, hanya PT. Continental Solvindo yang memproduksi N-butil asetat dengan kapasitas 20.000 ton per tahun, yang jauh di bawah permintaan pasar yang terus meningkat. Ketidakesesuaian antara pasokan lokal dan permintaan yang terus tumbuh menciptakan peluang investasi yang positif untuk

membangun pabrik N-butyl asetat dengan kapasitas yang besar. Pengembangan sektor ini sejalan dengan visi pemerintah untuk meningkatkan hilirisasi industri kimia dasar dan mengurangi ketergantungan pada impor bahan strategis.

1.2 Kapasitas Rancangan

Kapasitas rancangan harus memenuhi kebutuhan N-butyl asetat dalam negeri karena tujuan didirikannya untuk mengurangi ketergantungan impor di Indonesia. Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan yaitu.

1.2.1 Prediksi Kebutuhan N-butyl asetat di Indonesia

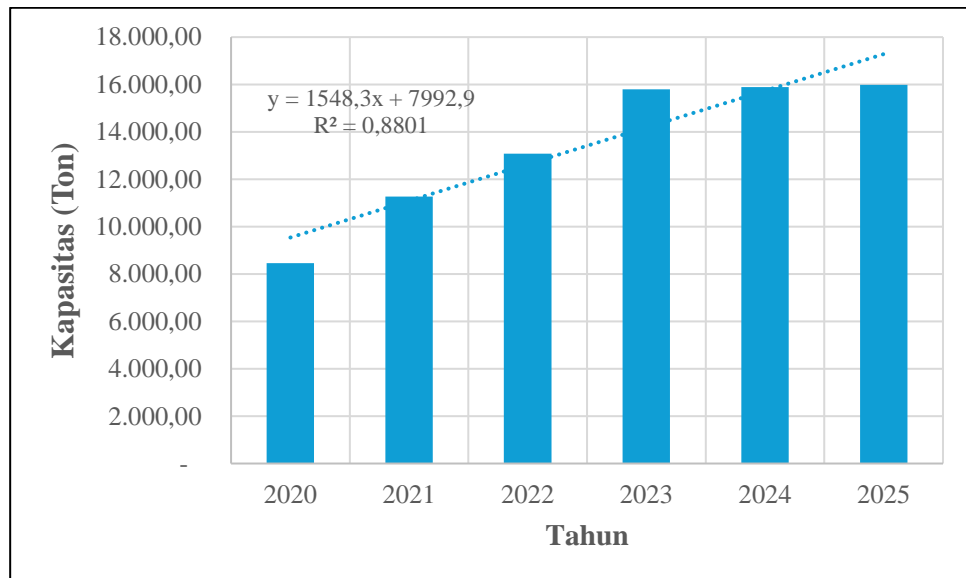
Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (2025), volume ekspor N-butyl asetat Indonesia mengalami penurunan. Ekspor tahun 2020 mencapai sekitar 10.961 ton menurun hingga hampir nol pada tahun 2023. Penurunan tersebut disebabkan melemahnya permintaan global pasca pandemi, meningkatnya persaingan dari negara-negara produsen besar seperti Tiongkok, Amerika Serikat, dan Malaysia yang memiliki kapasitas produksi besar, serta keterbatasan kapasitas produksi dalam negeri Indonesia yang hanya ditopang oleh sedikit produsen sehingga lebih memprioritaskan pemenuhan pasar domestik (UN Comtrade, 2023; WITS, 2023; BPS, 2024). Selain itu, gangguan rantai pasok global dan kenaikan biaya logistik selama dan setelah pandemi COVID-19 turut menurunkan daya saing ekspor produk kimia Indonesia (Federasi Industri Kimia Indonesia, 2022). Meskipun demikian, volume impor N-butyl asetat yang relatif tinggi dan stabil menunjukkan bahwa permintaan pasar domestik tetap mengalami pertumbuhan. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), data N-butyl asetat Indonesia pada periode 2020–2025 selanjutnya disajikan pada Tabel 1.1.

Tabel 1. 1 Data Impor N-butyl asetat di Indonesia (Badan Pusat Statistik, 2026)

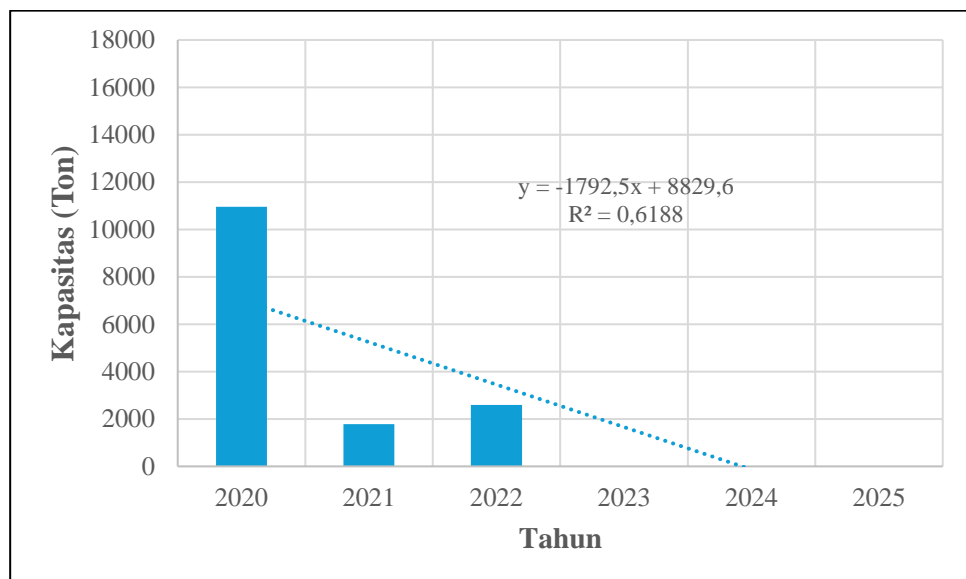
Tahun	Impor (ton/Tahun)	Ekspor (ton/Tahun)	Produksi (ton/Tahun)	Konsumsi (ton/Tahun)
2020	8.457,17	10.961,50	20.000,00	17.495,66
2021	11.267,05	1.778,16	20.000,00	29.488,89
2022	13.084,01	2.595,55	20.000,00	30.488,46
2023	15.793,92	-	20.000,00	35.793,92
2024	15.890,58	0,14	20.000,00	35.890,44
2025	15.979,22	0,10	20.000,00	35.979,12

Data diambil pada 20 Januari 2026

Berdasarkan data impor, ekspor, produksi, dan konsumsi akan dilakukan perhitungan untuk mengetahui pertumbuhannya. Adapun berikut dijelaskan melalui Gambar 1.1 data impor, Gambar 1.2 data ekspor, dan pada Tabel 1.2.



Gambar 1. 1 Data Impor N-butil asetat di Indonesia



Gambar 1. 2 Data Ekspor N-butil asetat di Indonesia

Dalam analisis regresi, *R-squared* (R^2) menunjukkan seberapa baik persamaan regresi dapat menjelaskan variasi data. Sebagai acuan, persamaan regresi dengan R^2 tinggi (misalnya $\geq 0,9$) menunjukkan bahwa model regresi cukup baik digunakan untuk melakukan prediksi karena ada hubungan antar variabel (Heizer et al., 2020). Sayangnya, hasil analisis regresi linear pada data impor dan ekspor N-butyl asetat menunjukkan R^2 masing-masing sebesar 0,8801 dan 0,6188 sebagaimana pada Gambar 1.1 dan Gambar 1.2 Nilai R^2 tersebut menunjukkan

bahwa hubungan antara variabel waktu dan data impor maupun ekspor tidak cukup kuat, sehingga metode regresi linear tidak digunakan dalam penentuan kapasitas.

Tabel 1. 2 Data Import Ekspor N-butyl asetat di Indonesia dan Pertumbuhannya

Tahun	Impor (Ton)	Ekspor (Ton)	Produksi (Ton)	Konsumsi (Ton)	Pertumbuhan		
					Impor	Ekspor	Konsumsi
2020	8.457,17	10.961,50	20.000,00	17.495,66			
2021	11.267,05	1.778,16	20.000,00	29.488,89	33,22%	-83,78%	68,55%
2022	13.084,01	2.595,55	20.000,00	30.488,46	16,13%	45,97%	3,39%
2023	15.793,92	-	20.000,00	35.793,92	20,71%	-100,00%	17,40%
2024	15.890,58	0,14	20.000,00	35.890,44	0,61%	0,00%	0,27%
2025	15.979,22	0,10	20.000,00	35.979,12	0,56%	-26,32%	0,25%
Rata Rata Pertumbuhan					14,25%	-33%	18%

Dapat dilihat bahwa kebutuhan impor N-butyl asetat cenderung mengalami kenaikan, sehingga diprediksikan penggunaan N-butyl asetat akan mengalami peningkatan setiap tahunnya karena N-butyl asetat digunakan sebagai bahan baku utama dalam beberapa industri. Industri tersebut antara lain, industri cat dan pelapis sebagai konsumen terbesar sekitar 50–55%, terutama untuk melarutkan resin dan mengontrol pengeringan agar menghasilkan lapisan yang halus dan kuat. Sekitar 15–20% digunakan pada industri perekat dan tinta cetak sebagai pelarut resin dan pigmen, 8–12% pada kosmetik dan parfum sebagai pelarut aroma, dan 5–8% pada industri farmasi sebagai pelarut atau agen ekstraksi, sementara sisanya dimanfaatkan pada industri tekstil, kulit, plastik, dan karet.

1.2.2 Perhitungan Kapasitas Produksi

Penentuan kapasitas dapat dianalisis menggunakan dua pendekatan utama, yaitu metode regresi linear dan metode *discounted*. Penentuan kapasitas pabrik pada awalnya dianalisis menggunakan metode regresi linear berdasarkan data impor dan ekspor. Selain itu, penentuan kapasitas juga mempertimbangkan kapasitas rata-rata pabrik N-butyl asetat di Indonesia. Berdasarkan data tersebut, dilakukan analisis terhadap proyeksi impor, ekspor, produksi, dan konsumsi N-butyl asetat untuk pabrik yang direncanakan mulai beroperasi pada tahun 2030. Pada produksi ini, data yang digunakan adalah data impor dan ekspor dan dapat dihitung dengan rumus metode *discounted* sebagai berikut:

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

Dimana:

M = Jumlah produk pada akhir tahun perhitungan

P = Data besarnya impor dan ekspor pada tahun 2025

M₁ = Nilai impor pada tahun 2030

M₂ = Nilai produksi pabrik lama pada tahun 2030

M₃ = Nilai produksi pabrik baru pada tahun 2030

M₄ = Nilai ekspor pada tahun 2030

i = Rata-rata kenaikan impor setiap tahun

n = Selisih tahun 2030 dan tahun 2025 (5 tahun)

(Peters and Timmerhaus, 1996)

Neraca Massa Peluang Kapasitas

$$M_1 + M_2 + M_3 = M_4 + M_5$$

$$M_3 = (M_4 + M_5) - (M_1 + M_2)$$

Dimana:

M₁ = Nilai impor pada tahun 2030

M₂ = Nilai produksi pabrik lama pada tahun 2030

M₃ = Nilai produksi pabrik baru pada tahun 2030

M₄ = Nilai ekspor pada tahun 2030

M₁ nilai impor pada tahun 2030 = 30.934,474 ton

M₂ nilai produksi pabrik lama = 20.000 ton

M₄ nilai ekspor pada tahun 2030 = 0,014 ton

M₅ konsumsi dalam negeri tahun 2030 = 82.212,237 ton

Sehingga kapasitas produksi yang masih dibutuhkan ditentukan dengan rumus :

$$= (\text{Konsumsi} + \text{Ekspor}) - (\text{Produksi} + \text{Impor})$$

$$= (82.212,237 + 0,014) - (20.000 + 30.934,474)$$

$$= 31.277,781 \text{ ton/tahun}$$

Menghitung Kapasitas Produksi pada Tahun 2030

$$\text{Kapasitas Produksi} = 0,6 \times \text{Peluang Kapasitas}$$

$$= 0,6 \times 31.277,781 \text{ Ton/tahun}$$

$$= 18.766,669 \text{ Ton/tahun} \approx \mathbf{19.000 \text{ Ton/tahun}}$$

Berdasarkan perhitungan kapasitas produksi, diperoleh bahwa peluang kapasitas produksi pada tahun 2030 mencapai 31.111,54 ton per tahun. Namun, mengingat belum adanya pabrik N-butyl asetat yang beroperasi di Indonesia, maka kapasitas pabrik baru yang direncanakan dikalikan dengan faktor 60% dari nilai proyeksi tersebut. Oleh karena itu, dengan perencanaan pembangunan pabrik dengan kapasitas sebanyak 19.000 ton/tahun diharapkan dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri dan mengurangi kebutuhan impor. Adapun data proyeksi dapat dilihat pada tabel 1.3.

Tabel 1. 3 Proyeksi Kebutuhan N-butyl asetat di Indonesia (2031 - 2050)

Tahun	Kebutuhan	Produksi (Ton/tahun)	Kontribusi Pemenuhan Kebutuhan (%)
2031	35.303,70	19.000	54%
2032	40.290,03	19.000	47%
2033	45.980,64	19.000	41%
2034	52.474,99	19.000	36%
2035	59.886,62	19.000	32%
2036	68.345,07	19.000	28%
2037	77.998,21	19.000	24%
2038	89.014,76	19.000	21%
2039	101.587,31	19.000	19%
2040	115.935,62	19.000	16%
2041	132.310,50	19.000	14%
2042	150.998,19	19.000	13%
2043	172.325,34	19.000	11%
2044	196.664,77	19.000	10%
2045	224.441,93	19.000	8%
2046	256.142,36	19.000	7%
2047	292.320,20	19.000	6%
2048	333.607,84	19.000	6%
2049	380.727,00	19.000	5%
2050	434.501,32	19.000	4%

1.2.3 Ketersediaan Bahan Baku

Ketersediaan bahan baku merupakan faktor yang sangat penting dalam menjamin kelancaran proses produksi N-butyl asetat. Bahan baku yang dibutuhkan

pada pembuatan N-butyl asetat dari N-butanol dan Asam Asetat antara lain adalah N-butanol dan asam asetat. Untuk bahan baku N-butanol diperoleh dari PT. Petro Oxo Nusantara memiliki kapasitas produksi 30.000 ton/tahun yang berlokasi di Gresik, Jawa Timur. Bahan baku asam asetat dari PT Indo Acidatama dengan kapasitas produksi 56.600 ton/tahun.

Bahan baku pembuatan N-butyl asetat dapat disediakan oleh perusahaan-perusahaan yang memproduksi N-butanol dan Asam Asetat, dari dalam negeri maupun diluar Indonesia. Berikut ini merupakan beberapa perusahaan yang memproduksi N-butanol dan Asam Asetat. Adapun data perusahaan pabrik N-Butanol dan Asam Asetat bisa dilihat pada tabel 1.4 dan 1.5.

Tabel 1. 4 Pabrik N-butanol di Indonesia dan Dunia

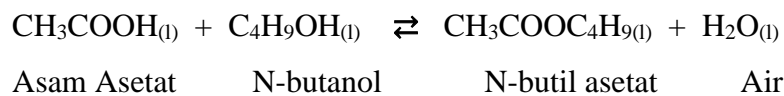
No	Nama Pabrik	Lokasi Pabrik	Kapasitas (ton/tahun)
1	BASF	Texas, USA	240.000
		Ludwigshafen	450.000
2	Dow Chemical	Taft, USA	270.000
		Texas, USA	255.000
3	Oxochime	Prancis	150.000
4	Oxea	Oberhausen, Jerman	130.000
5	Eastman	Texas, USA	130.000
6	Perstop Oxo	Swedia	100.000
7	Petro Oxo Nusantara	Gresik, Indonesia	30.000

Tabel 1. 5 Pabrik Asam Asetat di Indonesia dan Dunia

No	Nama Pabrik	Lokasi Pabrik	Kapasitas (ton/tahun)
1	Samsung BP Chemical	Korea	600.000
2	BP Petronas Acetyls	Malaysia	500.000
3	Byaco	China	535.000
4	Saudi Petrochemical	Arab Saudi	460.000
5	Daicel Chemicals	Jepang	450.000
6	Yangkuang Guotai	China	300.000
7	Wacker Chemie	Jerman	120.000
8	MSK Kikinda	Serbia	100.000
9	Indo Acidatama	Indonesia	56.600

Pengendalian reaksi yang dapat dilakukan agar reaksi berjalan lebih ke arah produk adalah membuat berlebih salah satu reaktan yaitu N-butanol karena secara

ekonomis N-butanol lebih murah daripada asam asetat. Selain itu, salah satu reaktan dibuat berlebih untuk memastikan bahwa semua reaktan pembatas telah habis bereaksi sehingga jumlah produk yang terbentuk akan maksimum. Perbandingan jumlah antara asam asetat dan N-butanol yang digunakan adalah 1:1,07 (Suryawanshi dkk., 2016). Untuk memenuhi kebutuhan bahan baku pembuatan N-butil asetat dapat dilakukan perhitungan stoikiometri, menggunakan kapasitas produksi sebesar 19.000 ton/tahun, sehingga kebutuhan asam asetat dan N-butanol dapat dihitung sebagai berikut:



$$\begin{aligned} \text{Mol N-butil asetat} &= \frac{\text{Massa Butil Asetat}}{\text{BM N-butil asetat}} \\ &= \frac{19.000.000.000 \text{ gram/tahun}}{116 \text{ gram/mol}} \\ &= 163.793.103,45 \text{ mol/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Asam Asetat} &= \frac{\text{Koefisien CH}_3\text{COOH}}{\text{Koefisien CH}_3\text{COOC}_4\text{H}_9} \times \text{BM CH}_3\text{COOH} \times \text{Mol N-butil asetat} \\ &= \frac{1}{1} \times 60 \frac{\text{gram}}{\text{mol}} \times 163.793.103,45 \frac{\text{mol}}{\text{tahun}} \\ &= 9,827 \times 10^9 \frac{\text{gram}}{\text{tahun}} \\ &= 9.827 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa N-butanol} &= \frac{\text{Koefisien CH}_4\text{H}_9\text{OH}}{\text{Koefisien CH}_3\text{COOC}_4\text{H}_9} \times \text{BM CH}_4\text{H}_9\text{OH} \times \text{Mol N-butil asetat} \\ &= \frac{1,07}{1} \times 74 \frac{\text{gram}}{\text{mol}} \times 163.793.103,45 \frac{\text{mol}}{\text{tahun}} \\ &= 1,2969269 \times 10^{10} \frac{\text{gram}}{\text{tahun}} \\ &= 12.970 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

1.2.4 Kapasitas Komersial Pabrik N-butil asetat

Sampai saat ini, Indonesia belum bisa memenuhi kebutuhan N-butil asetat, sedangkan kebutuhan akan N-butil asetat diperkirakan terus meningkat sesuai dengan banyaknya industri yang menggunakannya. Untuk memenuhi kebutuhan N-butil asetat dalam negeri, Indonesia masih harus mengimpor.

Kapasitas pabrik yang akan didirikan harus berada di atas kapasitas minimum atau sama dengan kapasitas yang sudah berjalan. Kebutuhan N-butil

asetat dipenuhi dari dalam negeri oleh PT. Mega Prima Solvindo dengan kapasitas 20.000 ton/tahun (ebergroup, 2023). Kapasitas produksi secara komersial yang telah ada dapat dilihat pada Tabel 1.6.

Tabel 1. 6 Produsen N-butyl asetat di Dunia (Pramudani, 2018)

Pabrik	Lokasi	Kapasitas (Ton)
Eropa		
Oxea	Germany	100.000
Incos Oxide	Belgium	100.000
BASF	Germany	90.000
Ludwigshafen, Germany	Rusia	55.000
Celanese	Germany	40.000
Wood AND Chemical Co	Rusia	36.000
Ashink chemical plant	Chelyabink Russia	35.000
Nevinnomyssk azot	Rusia	18.000
Plastificantes de Lutzana	Spain	7.000
Synthos Dwory	Polandia	6.000
Asia		
Wuxi Baichuan	China	200.000
Jiangmen	China	100.000
Korea alcohol	South Korea	85.000
Shandong	China	80.000
Shiny	Taiwan	60.000
Petronas	Malaysia	60.000
Dragon sky	China	50.000
K H Neochem	Japan	40.000
Mega Prima Solvindo	Indonesia	20.000
Pabrik N-butyl asetat (<i>Reactive distillation</i>)		
HS Fengxiang Technology Co., Ltd	China	20.000
YJ Petrochemical Co., Ltd	China	60.000
Union Carb	Amerika Serikat	23.000
JSC "Carbochim	Rusia	30.000

Dapat dilihat kapasitas pabrik N-butyl asetat berkisar antara 6.000 hingga 200.000 ton per tahun. Kapasitas minimum sebesar 6.000 ton per tahun dioperasikan

oleh Synthos Dwory di Polandia, sementara kapasitas terbesar mencapai 200.000 ton per tahun oleh Wuxi Baichuan di China.

Oleh karena itu, mengingat permintaan domestik N-butyl asetat yang terus meningkat, tingginya volume impor, dan kebutuhan produksi, perlu didirikan pabrik N-butyl asetat di Indonesia. Berdasarkan pertimbangan kapasitas minimum pabrik yang sudah beroperasi di dunia, kapasitas produksi yang dipilih adalah 19.000 ton per tahun. Hal ini layak untuk didirikan dengan pertimbangan:

- a. Memenuhi kebutuhan N-butyl asetat dalam negeri.
- b. Mendorong berdirinya industri-industri lainnya yang menggunakan N-butyl asetat terutama pada penyediaan bahan baku.
- c. Menarik investor dalam negeri dan asing untuk berinvestasi di Indonesia
- d. Menekan devisa negara sekaligus meningkatkan devisa dengan melakukan ekspor ke luar negeri.
- e. Menyediakan lapangan kerja baru, sehingga dapat menurunkan angka pengangguran

1.3 Penentuan Lokasi Pabrik

Dalam proses *weight gain*, produk akhir memiliki berat yang lebih besar dibandingkan reaktan. Dalam hal ini, mendirikan pabrik dekat pasar akan lebih menguntungkan karena biaya transportasi bisa lebih rendah. Sebaliknya, jika proses tersebut berkaitan dengan *weight loss*, misalnya reaksi yang menghasilkan limbah berupa air atau gas yang dapat dibuang, maka lokasi yang ideal adalah di dekat sumber bahan baku.

Ketika membandingkan jumlah bahan baku dengan jumlah produk, proses produksi N-butyl asetat termasuk dalam kategori *weight loss*, massa produk utama yang dihasilkan (116 g/mol) lebih kecil dari total massa bahan baku yang diumpangkan (134 g/mol). Selisih massa sebesar 18 g/mol keluar dari sistem dalam bentuk air sebagai produk samping reaksi esterifikasi yang harus dipisahkan melalui unit destilasi. Dengan demikian, untuk menghasilkan setiap 116 gram N-butyl asetat, diperlukan 134 gram bahan baku, sehingga kebutuhan bahan baku yang lebih besar dari massa produk yang diperoleh menjadi dasar pertimbangan lokasi pabrik untuk didirikan dekat dengan sumber bahan baku guna meminimalkan biaya transportasi. Dalam menentukan posisi pabrik, sejumlah faktor harus diperhatikan agar lokasi yang dipilih tepat dan biaya pembangunan serta transportasi menjadi minimal. Ada tiga lokasi yang layak dipertimbangkan untuk pembangunan pabrik N-butyl asetat, yakni Cilegon, Karanganyar, dan Gresik. Penentuan lokasi pabrik didasarkan pada analisis aspek-aspek yang ada dalam tabel 1.7 berikut:

Tabel 1. 7 Perbandingan Pemilihan Lokasi Pabrik

Kriteria	Cilegon	Karanganyar	Gresik
Bahan Baku	Katalis Amberlyst-15 wet diperoleh dari PT. Rohm and Haas Indonesia di Cilegon.	Asam asetat diperoleh dari PT. Indo Acidatama Chemical Industri di Surakarta.	N-butanol diperoleh dari PT Petro Oxo Nusantara yang terletak di Gresik, asam asetat dari PT Indo Acidatama yang terletak di Surakarta, dan katalis Amberlyst-15 wet diperoleh dari PT. Rohm and Haas Indonesia di Cilegon.
Skor	4	4	5
Harga tanah	2.500.000-3.500.000/m ²	Rp 1.000.000-2.000.00/m ²	2.200.000-2.700.000/m ²
Skor	2	4	3
Transportasi	Sarana perhubungan: Dilewati tol trans Jawa dan Pelabuhan Merak Udara: Bandara Soekarno Hatta.	Jalur transportasi darat: Jalan raya regional, akses tol Semarang. Udara: Bandara Adi Sumarmo Semarang.	Jalur transportasi darat: Tol Manyar Air: Pelabuhan JIPE Udara: Internasional Juanda.
Skor	5	3	5
Listrik	Penyediaan energi Listrik dari PT. PLN (Perusahaan Listrik Negara) dan generator. Memadai untuk digunakan industri.	Penyediaan energi Listrik dari PT. PLN (Perusahaan Listrik Negara) dan generator. Memadai untuk digunakan industri.	Penyediaan energi Listrik dari PT. PLN (Perusahaan Listrik Negara) dan generator. Memadai untuk digunakan industri.
Skor	4	4	4
Air	Pengolahan air di-supply dari aliran Sungai Cidanau dan laut apabila tidak mencukupi.	Pengolahan air di-supply dari aliran Sungai Bengawan Solo.	Pengolahan air di-supply dari aliran Sungai Bengawan Solo (banyak dimanfaatkan pabrik lain)

Kriteria	Cilegon	Karanganyar	Gresik
			dan laut Pelabuhan JIPE setelah <i>water treatment</i> .
Skor	4	4	5
Tenaga Kerja	Potensi Sumber Daya Manusia Baik. 483.015 jiwa. TPT Tahun 2024 sebesar 6,08%.	Potensi Sumber Daya Manusia 955.116 jiwa. TPT Tahun 2024 sebesar 4,28%.	Potensi Sumber Daya Manusia 1.327.497 jiwa. TPT Tahun 2024 sebesar 6,45%.
Skor	4	2	4
Lokasi Pasar	Pasar lokal didominasi oleh PT. Continental Solvindo. Industri pengguna: PT. Asahimas Chemical (Cilegon), PT. Eternal Buana Chemical (Tangerang).	Masih terbatas dan belum banyak industri.	PT. Wiharta Karya Agung Factory (± 16 km), PT. Novapharin Pharmaceutical (± 32 km), PT. Aditama Raya Farmindo (Surabaya, ± 51 km), PT. Nippon Paint (± 23 km),
Skor	4	2	5
Limbah	Limbah dapat dibuang di sungai Cidanau dan laut Pelabuhan Merak setelah <i>water treatment</i> .	Limbah dapat dibuang di sungai dan laut setelah <i>water treatment</i> .	Limbah dapat dibuang di sungai dan laut Pelabuhan JIPE setelah <i>water treatment</i> .
Skor	4	4	4
Kebijakan Pemerintah Daerah	Pemerintah daerah mempertegas tujuan dalam mewujudkan perindustrian.	Pemerintah daerah mempertegas tujuan dalam mewujudkan perindustrian.	Pemerintah daerah mempertegas tujuan dalam mewujudkan perindustrian.
Skor	4	4	4
UMK	Rp5.469.923	Rp2.592.154	Rp5.195.401
Skor	2	4	2
Skor Total	37	35	41

Berdasarkan Tabel 1.7 menjelaskan mengenai perbandingan beberapa lokasi yang potensial untuk pendirian pabrik N-butyl asetat. Berdasarkan lokasi di atas, Gresik memperoleh total skor tertinggi sehingga dipilih sebagai lokasi pendirian.

1. Ketersediaan Bahan Baku

Bahan utama adalah sesuatu yang penting agar pabrik bisa beroperasi. Bahan baku N-butanol didapat dari PT Petro Oxo Nusantara yang ada di Gresik, berjarak sekitar 15,1 km, asam asetat berasal dari PT Indo Acidatama yang berlokasi di Surakarta dengan jarak sekitar 261 km, katalis Amberlyst-15 wet diperoleh dari PT. Rohm and Haas Indonesia di Cilegon. Tempat pabrik bahan baku ini berdekatan dengan lokasi pembangunan pabrik, sehingga memudahkan proses pengiriman.

2. Daerah Pemasaran

Pemasaran adalah aspek yang sangat penting dalam menentukan apakah suatu industri berhasil atau tidak, terutama dalam hal keuntungan yang dihasilkan. Selain itu, pemilihan lokasi pabrik yang baik dan kedekatannya dengan pasar sangat dipertimbangkan untuk kenyamanan konsumen dalam mengakses produk. Dengan fokus pada pasar domestik, diharapkan penjualan akan maksimal dan sebagian produk juga akan diekspor ke negara lain. Di Indonesia, industri yang memanfaatkan N-butyl asetat masih banyak berada di pulau Jawa, seperti PT. Wiharta Karya Agung Factory yang terletak di Gresik dengan jarak sekitar 16 km, PT Nippon Paint di Gresik yang berjarak sekitar 23 km, PT. Novapharin Pharmaceutical Industries juga di Gresik dengan jarak sekitar 32 km, dan PT Aditama Raya Farmino yang ada di Surabaya dengan jarak sekitar 51 km. Adapun industri pengguna N-butyl asetat bisa dilihat pada tabel 1.8.

Tabel 1. 8 Industri Pengguna N-butyl asetat

Nama Industri	Komoditi	Lokasi
PT. Warnatama Cemerlang	Cat	Gresik
PT. Avia Avian	Cat	Sidoarjo
PT. Nippon Paint	Cat	Gresik
PT. Novapharin Pharmaceutical Industries	<i>Coating</i>	Gresik
PT Aditama Raya Farmino	<i>Coating</i>	Gresik
PT. Wiharta Karya Agung Factory	<i>Plasticizer</i>	Gresik
PT. Anugrah Prima Lestari	Cat Besi	Pasuruan
PT. Atlantic Ocean Paint	Cat dan Vernis	Gresik

Nama Industri	Komoditi	Lokasi
PT. Cipta Warna Abadi	Cat	Pasuruan
PT. Ciwipoint Global Indonesia	Cat Kayu	Surabaya
PT. Dwi Anugrah Sejahtera	Cat	Sidoarjo
PT. Gyung Do Indonesia	Cat	Mojokerto
PT. Nipsea Paint and Chemicals	Cat	Gresik
PT. Pertiwimas Adi Kencana	Thinner dan Cat	Sidoarjo
PT. Putra Jaya Abadi Sentosa	Cat	Sidoarjo
PT. Triton Paint	Cat	Malang
PT. Tunggal Djaya Indah	Cat	Sidoarjo
PT. Kalimas Putra Makmur	Thinner dan Cat	Sidoarjo
PT. Intech Indah Mulya	Tinta Cetak	Sidoarjo
CV. Rex Ink Indonesia	Tinta	Surabaya

Sumber : Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, (2026)

3. Sarana Transportasi

Sarana transportasi sangat krusial dalam mendukung pasokan bahan baku dan distribusi produk. Fasilitas transportasi terdiri dari darat (jalan raya), laut, dan udara. Gresik memiliki sistem transportasi darat dan laut yang efisien dan mudah diakses, sehingga menjamin kelancaran proses transportasi. Jalan dan pelabuhan adalah contoh media transportasi yang tepat dan berguna untuk mendukung kelangsungan pabrik, baik dalam hal kemudahan mengangkut bahan baku maupun mengeksport produk. Dengan adanya dukungan dari infrastruktur transportasi yang cukup, tentu saja hal ini akan mempermudah proses distribusi bahan baku dan pemasaran produk baik di dalam maupun luar Pulau Jawa, berkat fasilitas pelabuhan yang ada, seperti Pelabuhan Lumpur Gresik.

4. Utilitas

Di pabrik, fungsi unit utilitas sangat krusial dan utilitas adalah alat untuk mendukung kelancaran proses pembuatan. Unit utilitas terbagi menjadi air, listrik, dan bahan bakar. Air adalah salah satu kebutuhan paling penting bagi sebuah industri. Air digunakan untuk proses, sebagai media pendingin, untuk sanitasi, dan keperluan lainnya. Di Gresik, air mudah didapat karena pabrik berada dekat Sungai Bengawan Solo yang mempunyai panjang 600 km. Banyak pabrik yang dibangun di daerah Gresik, dan semuanya membutuhkan air untuk proses produksi mereka. Begitu juga, listrik akan didapat dari PLN, sementara cadangan generator bahan bakar akan berasal dari

Pertamina. Ini adalah salah satu faktor paling penting di pusat industri, terutama untuk penerangan dan memenuhi kebutuhan lainnya.

5. Ketersediaan Tenaga Kerja

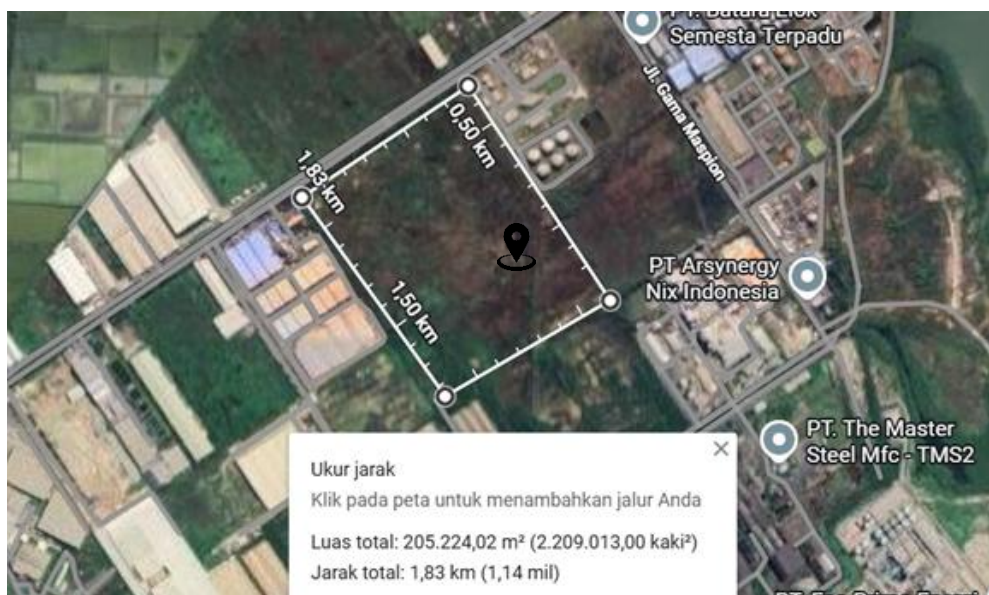
Pendirian sebuah pabrik harus mempertimbangkan aspek tenaga kerja, yang mencakup baik tenaga kerja lokal maupun profesional yang berpengalaman di bidangnya. Di samping itu, penduduk Gresik mencapai 1.327.497 jiwa. Lokasi pabrik yang tidak terlalu jauh dari pemukiman warga memungkinkan penawaran tenaga kerja.

6. Pembuangan Limbah

Pembuangan limbah ke sungai dan laut Pelabuhan JIPE setelah water treatment. Namun, limbah yang dapat dibuang harus memenuhi persyaratan pembuangan air limbah agar tidak merusak lingkungan.

7. Kebijakan Pemerintah

Sejalan dengan kebijakan pengembangan industri, pemerintah telah menetapkan daerah Gresik sebagai kawasan industri yang menarik bagi investasi asing. Khususnya, untuk investasi dalam produksi N-butil asetat, terdapat peluang besar bagi investor, mengingat Indonesia masih belum dapat memenuhi kebutuhan domestik akan N-butil asetat, sementara permintaan sangat tinggi. Adapun lokasi N-butil asetat bisa dilihat pada gambar 1.3.



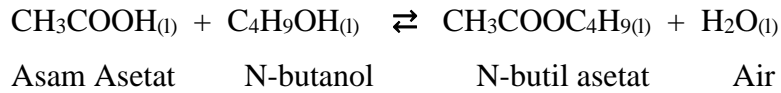
Gambar 1. 3 Pemilihan Lokasi Pabrik

1.4 Tinjauan Proses

N-butil asetat ($\text{CH}_3\text{COOC}_4\text{H}_9$) merupakan cairan yang tidak berwarna, dengan berat molekul 116,16 gram/mol dan aroma menyerupai buah-buahan (Mc Ketta, 1993). Proses utama dalam pembuatan N-butil asetat adalah proses esterifikasi. Proses esterifikasi

merupakan proses pembentukan ester, hasil reaksi dari alkohol dan asam karboksilat dengan air sebagai hasil sampingnya.

Berikut merupakan reaksi esterifikasi pembentukan N-butil asetat dari asam asetat dan N-butanol:



1.4.1 Macam-macam Proses Pembuatan N-butil asetat

Terdapat beberapa proses pembuatan N-butil asetat yang telah dikembangkan sebagai berikut:

1. Proses Batch

Proses batch untuk produksi N-butil asetat dimulai dengan pengisian reaktor dengan campuran N-butanol dan asam asetat bersama katalis. Dalam paten US5231222A (Papa & Bryant, 1993), reaktor diisi dengan campuran N-butanol dan asam asetat pada rasio molar 1:1, kemudian dipanaskan hingga suhu 115–120°C. Kesetimbangan esterifikasi dicapai setelah pemanasan selama 1,5 jam ketika suhu reaktor telah mencapai 105°C, yang ditandai dengan mulainya refluks N-butil asetat di bagian atas kolom destilasi dan konsentrasi asam asetat yang konstan di dalam reaktor. Selama reaksi berlangsung, uap yang terbentuk dikondensasi dan diarahkan ke dekanter untuk pemisahan fase. Produk atas kolom destilasi berupa azeotrop ester dan air dikondensasi dan dipisahkan fasenya di dalam vessel dekanter, menghasilkan lapisan atas kaya N-butil asetat yang kemudian dapat dimurnikan lebih lanjut. Tantangan utama dalam pemisahan produk proses batch adalah terbentuknya azeotrop terner minimum N-butil asetat–N-butanol–air yang mendidih pada 90,7°C dan mengandung 63% berat N-butil asetat.

2. Proses Kontinyu

Proses kontinyu untuk produksi N-butil asetat beroperasi dengan pengumpanan N-butanol, asam asetat, dan katalis secara terus-menerus ke dalam sistem reaktor. Dalam konfigurasi berbasis fixed-bed reactor, asam asetat segar dan N-butanol diumpankan ke sistem dengan rasio umpan 1:1; aliran recycle yang mengandung asam asetat dan N-butanol yang belum bereaksi dikembalikan untuk bercampur dengan umpan segar sebelum memasuki reaktor, sementara efluen reaktor dipompa menuju kolom destilasi untuk pemurnian lebih lanjut. Reaksi esterifikasi dalam reaktor fixed-bed berlangsung pada rentang suhu 100–

120°C dengan menggunakan katalis resin penukar ion; pada kondisi ini juga diidentifikasi produk samping berupa isomer butena, di-n-butil eter, serta sec-N-butyl asetat yang perlu diminimalkan melalui pemilihan jenis dan kondisi operasi katalis yang tepat.

Air yang terbentuk sebagai produk samping reaksi dipindahkan secara kontinyu melalui proses dekanter untuk memisahkan fase organik dan fase air. Hasil atas dekanter berupa campuran organik dikembalikan ke reaktor esterifikasi sebagai recycle stream untuk meningkatkan konversi, sedangkan air dibuang sebagai limbah. Produk ester yang terbentuk menjadi lapisan atas pada proses dekanter. Sebagian dari produk ester mentah ini diumpankan ke bagian atas kolom esterifikasi sebagai reflux untuk kontrol temperatur dan menjaga stabilitas operasi kolom, sedangkan sisanya ke kolom destilasi untuk purifikasi lanjut.

Keseimbangan esterifikasi dicapai sekitar 30 menit, jauh lebih cepat dibandingkan proses batch. Produk yang keluar dari menara destilasi berupa campuran azeotrop yang terdiri dari N-butanol, N-butyl asetat, dan air. Campuran ini kemudian dialirkan ke separator tiga fasa untuk dilakukan pemisahan. Pada unit ini, air sebagai fase bawah dipisahkan dan dibuang, sedangkan fase tengah dikembalikan ke menara destilasi sebagai aliran refluks.

Sementara itu, fase atas dari separator dialirkan ke menara destilasi kedua untuk proses pemurnian lebih lanjut. Melalui tahapan ini, diperoleh produk N-butyl asetat dengan kemurnian sekitar 95% (Mc Ketta, 1993).

3. Proses *Reactive distillation* (RD)

Reactive distillation (RD) mengintegrasikan reaksi esterifikasi dan pemisahan produk di dalam satu kolom. Proses dimulai dengan pencampuran asam asetat dan N-butanol sebelum diumpankan ke kolom destilasi reaktif. Sesuai paten US6458992B1 (Sulzer Chemtech & Chemopetrol, 2002), asam asetat dan N-butanol diumpankan dengan rasio molar 1:1 hingga 1:10 ke dalam sistem tiga zona: zona reaktif di bagian tengah tempat reaksi esterifikasi dan pemisahan destilasi berlangsung bersamaan, serta zona pemisahan atas dan bawah yang hanya menjalankan destilasi. Campuran kemudian masuk ke dalam kolom *Reactive distillation* yang dilengkapi dengan katalis heterogen berupa ion exchange resin (Amberlyst-15) yang ditempatkan pada bagian reactive zone. Kolom dipanaskan menggunakan reboiler di bagian bawah.

Kolom *Reactive distillation* ini terdiri dari tiga bagian utama: satu reactive zone di bagian tengah kolom dimana reaksi esterifikasi berlangsung dengan bantuan katalis padat, dan dua non-reactive zone di bagian atas dan bawah kolom yang berfungsi untuk pemisahan dan pemurnian produk.

Dalam kolom *Reactive distillation* (RD), N-butil asetat (titik didih 126°C) turun ke bottom, sementara air (100°C) dan kelebihan N-butanol (117°C) menguap ke atas. Dengan menghilangkan air secara kontinyu dari fase reaksi (cairan), kesetimbangan bergeser ke kanan. Produk N-butil asetat dengan kemurnian tinggi keluar sebagai produk bawah kolom dengan spesifikasi kemurnian mencapai 99%. Sementara itu, produk atas kolom merupakan campuran azeotrop yang mengandung komponen organik volatil terdiri dari N-butanol, air, dan sejumlah kecil N-butil asetat yang teruap. Campuran azeotrop ini dialirkan ke separator (dekanter) untuk pemisahan fase organik dari fase air. Fase air yang masih mengandung sedikit asam asetat dan N-butanol dibuang ke pengolahan limbah atau di-recycle, sedangkan komponen organik murni dikembalikan ke kolom *Reactive distillation* sebagai reflux untuk menjaga neraca massa dan kontrol komposisi dalam kolom. Suhu pada zona reaktif harus dijaga di bawah 393 K (120°C) untuk mencegah degradasi termal katalis Amberlyst-15, sehingga kolom dioperasikan pada tekanan subatmosferik untuk menurunkan titik didih komponen (Arpornwichanop et al., 2009). Adapun pertimbangan proses N-butil asetat bisa dilihat pada tabel 1.9.

Tabel 1. 9 Pertimbangan Proses Pembuatan N-butil asetat

Aspek	Proses Batch	Proses Kontinyu	Proses <i>Reactive distillation</i>
Jenis Katalis	Asam Sulfat	<i>Amberlyst 15</i>	<i>Amberlyst 15</i>
Kemurnian	95%	95-98%	99%
Tekanan Operasi	1 atm	0,69-1 atm	0,69 atm
Suhu Operasi	105-120 °C	100-120 °C	<120 °C (zona reaktif)
Kapasitas	Kecil	Besar	Besar
Reaktor	Reaktor Batch + Kolom Destilasi	CSTR, Fixed Bed, Fluidized, Packed	<i>Reactive distillation</i>

Aspek	Proses Batch	Proses Kontinyu	Proses <i>Reactive distillation</i>
Penanganan Azeotrop	Dekanter terpisah	Kolom azeotrop + dekanter	Terintegrasi dalam kolom
Kekurangan	Waktu reaksi lama; tidak efisien untuk skala besar; konversi terbatas akibat kesetimbangan	Padat modal dan energi; pemisahan azeotrop memerlukan beberapa kolom destilasi	Desain dan operasi lebih kompleks; biaya kolom RD lebih tinggi daripada kolom destilasi konvensional biasa
Kelebihan	Dapat digunakan untuk kapasitas kecil Dalam satu plant dapat menghasilkan lebih dari 1 produk utama	Dapat digunakan untuk kapasitas besar. Waktu reaksi singkat.	Kemurnian N-butyl aetat yang diperoleh lebih tinggi. peralatan lebih sedikit; biaya operasi dan investasi total lebih rendah dibanding proses konvensional

Berdasarkan pertimbangan proses pada Tabel 1.9 proses yang dipilih adalah proses adalah proses *Reactive distillation* (RD). Pertimbangan yang pertama adalah konversinya yang paling tinggi. Selain itu penggunaan alat yang lebih ekonomis, karena alat utama pada proses esterifikasi batch dan kontinyu masih menggunakan reaktor dan distilator, sedangkan pada proses *Reactive distillation* reaksi dan destilasi dilakukan pada 1 kolom destilasi reaktif. Proses RD secara signifikan mengurangi biaya modal dan biaya energi dengan menggabungkan peralatan reaksi dan pemisahan menjadi satu unit operasi, sehingga total capital investment proses RD jauh lebih rendah dibandingkan proses konvensional. Katalis yang digunakan pada proses RD ini adalah Amberlyst-15, yaitu resin penukar ion asam kuat heterogen. Amberlyst-15 merupakan katalis padat asam yang tidak berbahaya, murah, serta dapat dipisahkan dari campuran reaksi hanya dengan teknik filtrasi sederhana. Penggunaan katalis heterogen ini juga menghilangkan masalah korosi peralatan dan

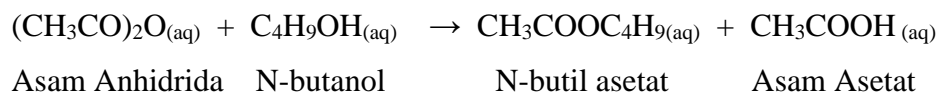
pencemaran produk yang umum terjadi pada katalis asam sulfat homogen di proses batch. Namun suhu zona reaktif harus dijaga di bawah 393 K (120°C) untuk mencegah degradasi termal katalis Amberlyst-15, sehingga kolom RD dioperasikan pada tekanan subatmosferik 0,69 atm (Arpornwichanop et al., 2009).

Dengan demikian, proses *Reactive distillation* dipilih karena merupakan satu-satunya proses yang mampu memenuhi spesifikasi kemurnian produk $\geq 99\%$, sekaligus menawarkan efisiensi ekonomi dan penggunaan katalis yang lebih ramah lingkungan untuk produksi N-butil asetat skala besar.

1.4.2 Tinjauan Proses Secara Umum

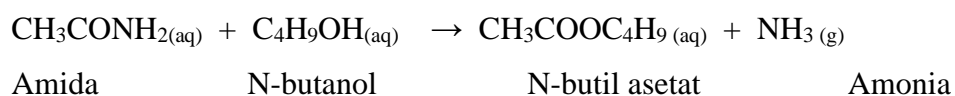
Proses pembentukan N-butil asetat umumnya terjadi melalui reaksi esterifikasi. Esterifikasi adalah reaksi pembentukan ester asam karboksilat dari alkohol dengan asam karboksilat dan turunan asam karboksilat. Terdapat berbagai jenis proses atau cara-cara yang biasanya digunakan dalam pembuatan N-butil asetat antara lain:

1. Pembuatan Ester dari Asam Anhidrida



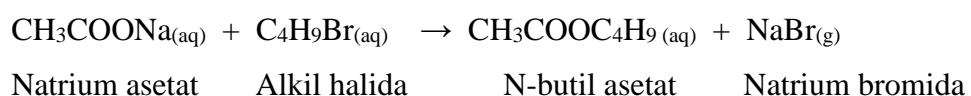
Pada proses ini terdapat kekurangan dan kelebihan. Dimana kekurangannya adalah hasil sampingnya berupa asam asetat sehingga dapat menyebabkan kemurnian N-butil asetat rendah dan reaksi ini dapat mengubah sifat ester. Keuntungannya jika ditambah katalis (asam sulfat, zinc chloride) reaksi dapat berjalan lebih cepat dibanding reaksi sejenis lainnya dan konversi cukup tinggi (Kirk dan Othmer, 1979).

2. Pembuatan Ester dari Amida



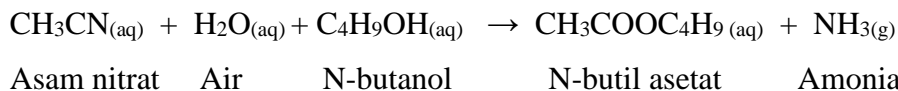
Pada reaksi ini kekurangannya hanya pada temperatur tinggi reaksinya dapat dijalankan, reaksi berlangsung lambat dan tidak umum digunakan dalam industri, hasil sampingnya NH_3 (amonia) dan reaksi bersifat endotermis. Kelebihan reaksi ini mempunyai konversi tinggi.

3. Pembuatan Ester dari Garam Karboksilat dan Alkil Halida



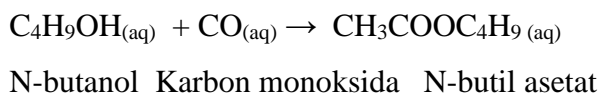
Kekurangannya yaitu bahan baku mudah menguap, reaksi berjalan sangat lambat dan mempunyai hasil samping NaBr. Keuntungannya, reaksi ini lebih murah karena bahan baku alkohol diperoleh dari esterifikasi langsung.

4. Pembuatan Ester dari Asam Nitrat



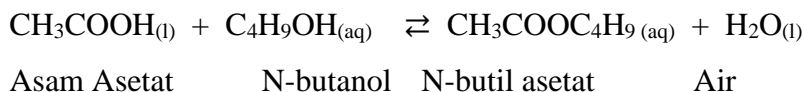
Kekurangan reaksi ini, hasil samping yang terbentuk adalah NH_3 , reaksi lambat, lebih kompleks dan kurang efisien jika dibanding reaksi yang lain. Kelebihannya yaitu pada kondisi operasi suhu dan tekanan rendah reaksi dapat dijalankan sehingga dapat mengurangi bahaya ledakan pada saat reaksi.

5. Pembuatan Ester melalui Karbonilasi



Kerugiannya CO merupakan bahan baku yang beracun, reaksi dapat berjalan jika tekanan reaksi dan temperatur reaksi juga tinggi. Keuntungannya yaitu kemurnian yang dihasilkan tinggi dan tidak mempunyai hasil samping.

6. Pembuatan Ester dari Asam Organik (Fischer)



Kekurangannya menghasilkan hasil samping H_2O . Keuntungannya pada suhu dan tekanan rendah reaksi tetap berjalan, proses sederhana dan umum digunakan, bahan baku sifatnya tidak beracun, reaksinya *reversible*. Adapun perbandingan pembuatan N-butil asetat bisa dilihat pada tabel 1.10.

Tabel 1. 10 Perbandingan Pembuatan N-butyl asetat

No	Metode	Reaksi	Katalis	Suhu Operasi	Tekanan Operasi	Sifat Reaksi	Produk Samping	Konversi	Kekurangan	Kelebihan
1	Dari Anhidrida Asetat	$(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O} + \text{C}_4\text{H}_9\text{OH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOC}_4\text{H}_9 + \text{CH}_3\text{COOH}$	H_2SO_4 , ZnCl_2	60– 100 °C	Atmosfer	Irreversibel, eksotermis	Asam asetat	Cukup tinggi (dengan katalis)	Kemurnian produk rendah akibat terbentuknya asam asetat; dapat mengubah sifat ester	Reaksi lebih cepat dengan katalis; konversi tinggi
2	Dari Amida	$\text{CH}_3\text{CONH}_2 + \text{C}_4\text{H}_9\text{OH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOC}_4\text{H}_9 + \text{NH}_3$	Asam/basa (opsional)	Tinggi (>150 °C)	Atmosfer hingga tinggi	Reversibel, endotermis	Amonia (NH_3)	Tinggi (tetapi lambat)	Memerlukan suhu tinggi, laju reaksi lambat, jarang digunakan dalam industri	Konversi tinggi
3	Dari Garam Karboksilat + Alkil Halida	$\text{CH}_3\text{COONa} + \text{C}_4\text{H}_9\text{Br} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOC}_4\text{H}_9 + \text{NaBr}$	Tidak memerlukan katalis	50– 100 °C	Atmosfer	Irreversibel, mekanisme SN_2 (lambat)	NaBr (padatan)	Rendah–sedang	Bahan baku alkil halida bersifat volatil, reaksi sangat lambat, menghasilkan garam sebagai produk samping	Biaya lebih rendah karena alkohol berasal dari esterifikasi langsung

4	Dari Nitril (Asetonitril)	$\text{CH}_3\text{CN} + \text{H}_2\text{O} + \text{C}_4\text{H}_9\text{OH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOC}_4\text{H}_9 + \text{NH}_3$	Katalis asam (hidrolisis)	Rendah–sedang	Rendah	Kompleks, melalui beberapa tahap	Amonia (NH_3)	Sedang	Menghasilkan NH_3 sebagai produk samping, reaksi lambat, proses lebih kompleks dan kurang efisien	Beroperasi pada suhu dan tekanan rendah sehingga risiko ledakan lebih kecil
5	Karbonilasi	$\text{C}_4\text{H}_9\text{OH} + \text{CO} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOC}_4\text{H}_9$	Katalis logam (Rh/Pd)	Tinggi (150–250 °C)	Tinggi (puluhan hingga ratusan atm)	Irreversibel	Tidak ada	Tinggi	CO bersifat toksik, memerlukan suhu dan tekanan tinggi sehingga biaya dan risiko keselamatan meningkat	Kemurnian produk tinggi, tanpa produk samping
6	Esterifikasi Fischer (Asam Organik + Alkohol)	$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{C}_4\text{H}_9\text{OH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOC}_4\text{H}_9 + \text{H}_2\text{O}$	H_2SO_4 / resin asam	100–120 °C	Atmosfer	Reversibel, sedikit eksotermis	Air (H_2O)	60–95% (bergantung pada katalis dan penghilangan air)	Air sebagai produk samping harus dihilangkan agar kesetimbangan	Suhu dan tekanan operasi rendah, proses sederhana,

bergeser ke arah produk	bahan baku tidak beracun, paling banyak digunakan di industri
----------------------------	---

Berdasarkan dari masing-masing cara pembuatan N-butyl asetat maka dipilih pembuatan N-butyl asetat dari N-butanol dan asam asetat dengan pertimbangan:

- Bahan baku tidak beracun
- Berlangsung dalam kondisi operasi suhu dan tekanan rendah
- Katalis yang digunakan adalah Amberlyst-15 (ion exchange resin heterogen) sehingga tidak menimbulkan korosi dan dapat diregenerasi
- Kemurnian N-butyl asetat 95-99%
- Umpan Asam asetat : Umpan N-butanol = 1 : 1 hingga 1 : 2 (molar)
- Suhu operasi zona reaktif dijaga di bawah 393 K (120°C) untuk mencegah degradasi termal katalis Amberlyst-15
- Tekanan Operasi = <1-2 atm

Katalisator berfungsi untuk mengurangi energi aktivasi pada suatu reaksi, sehingga reaksi dapat berlangsung lebih mudah. Katalis secara umum dapat dibagi menjadi 2 antara lain katalis homogen dan katalis heterogen.

Katalis homogen merupakan katalis yang memiliki fase yang sama dengan reaksi campuran (katalis dalam fase cair) seperti asam sulfat (H₂SO₄) dan asam klorida (HCl). Katalis homogen tersebut memberikan efek katalitik yang sangat kuat tetapi menimbulkan reaksi samping seperti pembentukan alkil klorida, dehidrasi, maupun isomerisasi. Katalis tersebut juga dapat menimbulkan korosi pada alat-alat proses dan kontaminasi pada produk ester.

Katalis heterogen merupakan katalis yang memiliki fase yang berbeda dengan reaksi campuran (katalis dalam fase padat, padat/cair, padat/gas, padat/cair/gas) katalis padat yang digunakan pada reaksi esterifikasi adalah katalis jenis ion exchange resin biasa digunakan untuk reaksi esterifikasi. Adapun perbandingan katalis bisa dilihat pada tabel 1.11.

Tabel 1. 11 Perbandingan Katalis

Katalis	Kelebihan	Kekurangan
Asam Sulfat	Mampu mempercepat reaksi dengan baik	Korosivitas tinggi; mencemari produk; menimbulkan reaksi samping
Amberlyst-15	Kemurnian produk tinggi; tidak korosif; dapat diregenerasi; selektivitas tinggi	Harga katalis relatif lebih mahal; rentan terhadap

Katalis	Kelebihan	Kekurangan
		degradasi termal di atas 120°C

Katalis Amberlyst 15 dipilih sebagai katalisator dikarenakan :

- Amberlyst-15 merupakan katalis padat asam yang tidak berbahaya dan dapat dipisahkan dari campuran reaksi hanya dengan teknik filtrasi sederhana, sehingga tidak mencemari produk ester
- Memiliki stabilitas kimia yang baik dan tidak menimbulkan korosi pada peralatan proses
- Penggunaan Amberlyst-15 sebagai katalis secara signifikan mempercepat laju reaksi esterifikasi dan mampu menghasilkan kemurnian produk yang tinggi
- Reaksi yang menggunakan *acid regenerated cation exchangers* umumnya akan menghasilkan konversi serta selektivitas produk ester yang relatif besar.

Proses produksi N-butil asetat yang dipilih dalam perancangan ini adalah proses *Reactive distillation* (RD) karena mampu menghasilkan produk dengan kemurnian tertinggi sekaligus lebih efisien secara energi dan modal dibandingkan metode lainnya. Reaksi yang digunakan adalah esterifikasi metode Fischer, yaitu reaksi antara asam asetat (CH_3COOH) dan N-butanol ($\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$) yang bersifat reversible dan menghasilkan N-butil asetat ($\text{CH}_3\text{COOC}_4\text{H}_9$) serta air (H_2O) sebagai produk samping. Untuk mempercepat reaksi dan meningkatkan konversi, digunakan katalis heterogen jenis ion exchange resin yaitu Amberlyst-15 yang memiliki keunggulan tidak korosif, dapat digunakan kembali, serta stabil secara kimia dan termal. Proses berlangsung di dalam kolom *Reactive distillation* tiga zona; zona reaktif di bagian tengah tempat reaksi dan pemisahan berlangsung simultan, serta zona pemisahan atas dan bawah dengan rasio umpan asam asetat terhadap N-butanol sebesar 1:1 hingga 1:10. Seluruh proses dijalankan pada suhu zona reaktif di bawah 120°C dan tekanan subatmosferik 0,69 atm untuk melindungi aktivitas katalis sekaligus menurunkan titik didih sistem, sehingga menghasilkan produk N-butil asetat dengan kemurnian 99,9 %.