

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri kimia adalah industri yang memiliki peran penting di dalam mendorong sektor ekonomi yang berjalan di Indonesia. Industri kimia berkontribusi dalam membuat berbagai produk yang sebagian besar adalah produk yang dibutuhkan oleh masyarakat Indonesia (Muhyidin dkk., 2021). Pengembangan dalam sektor industri kimia ini dilakukan guna mendukung kemandirian industri di Indonesia dan juga meningkatkan daya saing produk yang dihasilkan dalam negeri di pasar internasional. Industri kimia tidak hanya berfungsi sebagai penyedia produk akhir yang akan dikonsumsi oleh konsumen. Akan tetapi industri kimia juga menjadi penyedia produk yang akan digunakan oleh industri lain sebagai bahan baku yang akan diolah lebih lanjut. Produk yang dihasilkan oleh industri kimia ada yang dapat langsung dimanfaatkan dan ada pula yang langsung dimanfaatkan sebagai produk akhir (TradeMap, 2024).

Salah satu bahan kimia yang banyak digunakan di berbagai industri adalah isobutil asetat. Isobutil asetat merupakan senyawa ester dengan rumus molekul $C_6H_{12}O_2$ yang dikenal sebagai pelarut organik dengan volatilitas sedang, daya larut yang baik terhadap resin dan polimer, mudah terurai secara hayati (*biodegradable*), tegangan permukaan rendah, kemampuan sebagai pengubah viskositas, kelarutan air yang rendah, serta resistansi listrik yang tinggi, dan telah memenuhi persyaratan regulasi REACH di Eropa dan *Toxic Substances Control Act* (TSCA) yang telah diamandemen melalui *Lautenberg Chemical Safety Act* di Amerika Serikat (Martínez dkk., 2020). Ini menjadi gerakan untuk mendorong terjadinya transisi dari produk konvensional berbasis fosil menuju bahan kimia yang lebih aman, berbasis hayati, terbarukan, dan berkelanjutan gabung memiliki aroma khas yang relatif tidak menyengat (Takkellapati dkk., 2018). Karakteristik tersebut menjadikan isobutil asetat banyak dimanfaatkan dalam industri cat dan coating sebagai pelarut resin, pada industri tinta cetak untuk meningkatkan kualitas cetakan, serta pada industri perekat dan kosmetik dalam formulasi tertentu. Dibandingkan dengan ester lain, seperti n-butil asetat, isobutil asetat memiliki keunggulan pada sifat penguapan dan kestabilan aplikasi tertentu, sehingga permintaannya terus meningkat seiring berkembangnya industri pengguna (Fattahi dkk., 2019).

Berdasarkan data perdagangan Indonesia periode 2021–2025, rata-rata impor isobutil asetat tercatat sebesar 1.257.118,6 kg per tahun, sedangkan rata-rata eksportnya hanya mencapai 961,858 kg per tahun. Negara pemasok utama isobutil asetat ke Indonesia adalah China, Taiwan, dan Jepang (BPS, 2025). Perbedaan yang sangat signifikan antara volume impor dan ekspor tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan isobutil asetat dalam negeri sebagian besar masih dipenuhi melalui produk impor, sementara kapasitas produksi domestik masih sangat terbatas. Ketimpangan neraca perdagangan ini mengindikasikan adanya peluang pengembangan industri isobutil asetat di dalam negeri, khususnya sebagai upaya substitusi impor. Oleh karena itu, pendirian pabrik isobutil asetat di Indonesia dinilai layak secara konseptual untuk memenuhi kebutuhan pasar domestik, mengurangi ketergantungan terhadap pasokan luar negeri, serta memperkuat kemandirian industri kimia nasional.

1.2 Kapasitas Rancangan

Kapasitas rancangan untuk suatu pabrik ditentukan dengan mempertimbangkan dari perkiraan jumlah kebutuhan isobutil asetat pada daerah yang dituju (dalam laporan ini adalah negara Indonesia). Selain itu, juga mempertimbangkan kapasitas pabrik di dunia yang sudah ada. Dalam menentukan kapasitas pabrik tersebut, terdapat beberapa aspek yang perlu untuk diperhatikan, yaitu:

- a. Perkiraan kebutuhan isobutil asetat di Indonesia
- b. Ketersediaan bahan baku
- c. Proses produksi yang digunakan

1.2.1 Prediksi Kebutuhan Isobutil Asetat di Indonesia

Permintaan untuk pemenuhan kebutuhan isobutil asetat di Indonesia jika dilihat dari tahun ke tahun mengalami peningkatan. Namun, sampai saat ini kebutuhan tersebut masih dipenuhi keseluruhan oleh impor dari negara lain. Hal ini dikarenakan di Indonesia belum terdapat pabrik produksi isobutil asetat. Berdasarkan data 5 tahun terakhir, jumlah impor isobutil asetat dapat dilihat pada Tabel 1.1.

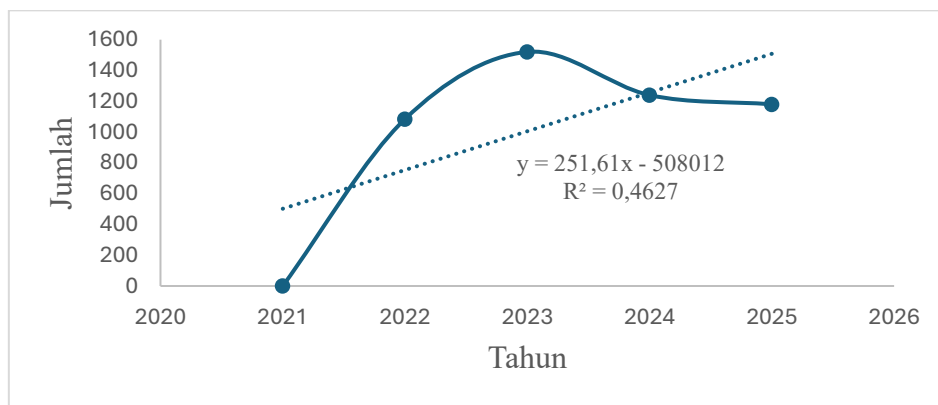
Tabel 1.1 Kebutuhan Isobutil Asetat di Indonesia

Tahun	Kapasitas (ton)
2021	1084,617
2022	1520,771
2023	1240,169

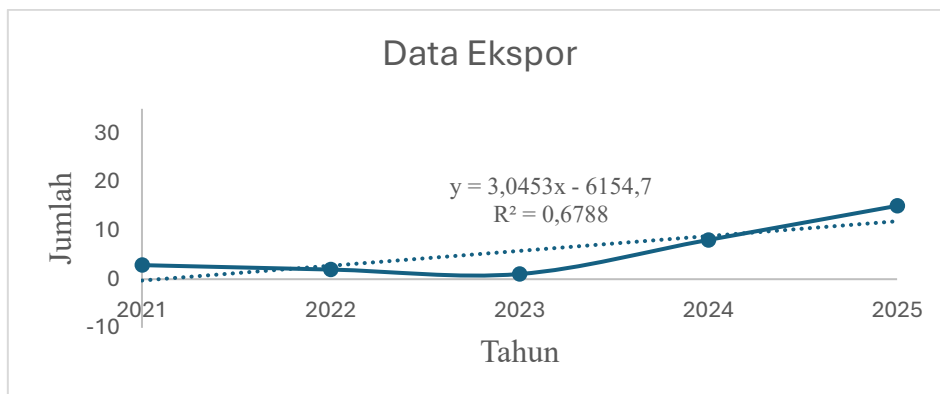
Tahun	Kapasitas (ton)
2024	1180,298
2025	1259,73875

Sumber: (Statistik, 2026)

Ini dapat dijadikan sebagai peluang pasar yang baik yang diperuntukkan bagi perkembangan industri pelarut organik di Indonesia terutama Isobutil Asetat. Kebutuhan Isobutil asetat diperkirakan terus bertambah seiring berjalannya waktu atau di tahun-tahun yang datang. Hal ini berkaitan dengan semakin berkembangnya industri dan peningkatan penggunaan pelarut organik dalam industri. Dapat dilihat pada Gambar 1.1 sebagai data impor dan Gambar 1.2 sebagai data ekspor.



Gambar 1.1 Data Impor



Gambar 1.2 Data Ekspor

Metode yang akan digunakan dalam menghitung kapasitas pabrik yang akan didirikan nanti akan menggunakan metode *discounted*. Pabrik akan direncanakan untuk didirikan di tahun 2030. Hasil Perhitungan dapat dilihat pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2 Hasil Perhitungan Prediksi

Tahun	Jumlah		% Prediksi	
	Ekspor (Ton)	Impor (Ton)	Ekspor	Impor + Konsumsi
2021	2,889	1084,617	0	0
2022	1,97575	1520,771	-0,316112842	0,402127203
2023	1,0625	1240,169	-0,462229533	-0,184512987
2024	8,06625	1180,298	6,591764706	-0,048276485
2025	15,07	1259,73875	0,86827832	0,067305672
Total (% Produksi)			6,681700651	0,236643402
I (Rata-rata)			1,33634013	0,04732868

Setelah mengetahui data impor dan ekspor isobutil asetat di Indonesia, dapat disimpulkan bahwa hingga saat ini belum terdapat pabrik isobutil asetat yang beroperasi di dalam negeri. Oleh karena itu, sebagai bahan perbandingan, dapat dilihat pada Tabel 1.3 beberapa pabrik isobutil asetat yang beroperasi di China sebagai referensi dalam produksi isobutil asetat di Indonesia.

Tabel 1.3 Pabrik Produksi Isobutil Asetat di Dunia

Industri	Kapasitas (Ton/Tahun)	Sumber
Ningbo Yongshun Fine Chemical Co. Ltd.	6000	https://www.researchandmarkets.com/reports/6102331/isobutyl-acetate-global-market-insights#:~:text=Dow%20stands%20as%20a%20global,Ltd.
Zhejiang Medicine Co. Ltd	14.000	
Zhejiang Jianye Chemical Co. Ltd.	10.000	

Di Indonesia belum ada pabrik isobutil asetat sehingga perbandingan dengan pabrik yang sudah beroperasi di luar negeri dijadikan pertimbangan dalam perancangan pabrik ini. Data perbandingan tersebut ditampilkan pada Tabel 1.3, yang dapat dijadikan acuan dalam menentukan kapasitas produksi isobutil asetat.

1.2.2 Perhitungan Kapasitas Produksi

Pabrik yang akan didirikan dirancang untuk berdiri di tahun 2030. Data yang digunakan dalam perhitungan adalah data impor dan juga ekspor dari tahun 2021–2025.

Estimasi kebutuhan pada tahun 2030 isobutil asetat dapat dicari menggunakan metode *discounted* sebagai berikut:

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

Dengan:

- 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
- M5 = Nilai konsumsi pabrik baru pada tahun 2030
- M4 = Nilai ekspor pada tahun 2030
- i = Rata-rata kenaikan impor setiap tahun
- n = Selisih tahun 2025 dan tahun 2030 (5 tahun)

Neraca Massa Peluang Kapasitas

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

- a. Perkiraan nilai Konsumsi (M5) pada tahun 2030
1555,12172 ton
- b. Perkiraan nilai impor (M2) pada tahun 2030
0 ton
- c. Perkiraan peluang kapasitas berdasarkan prediksi data ekspor dan impor di tahun 2030 (M3)
1016,732212 ton
- d. Perkiraan nilai Impor (M1) pada tahun 2030
1587,433246 ton
- e. Kapasitas produksi di tahun 2030 (dikali 1,5 karena belum didirikan pabrik isobutil asetat di Indonesia)
 $1525,098318 = 1.600$ ton per tahun

Dengan mempertimbangkan kebutuhan isobutil asetat serta kapasitas pabrik-pabrik yang sudah berdiri di dunia, kapasitas pabrik ini dirancang sebesar 5000 ton/tahun. Kapasitas ini diharapkan dapat memenuhi kebutuhan isobutil asetat dalam negeri.

1.2.3 Ketersediaan Bahan Baku

Kebutuhan isobutanol sebagai bahan utama dapat dipenuhi dari kawasan industri di sekitar lokasi, khususnya yang berdekatan dengan PT Petro Oxo Nusantara.

Sementara itu, asam asetat sebagai bahan pendukung dapat diperoleh dari pemasok dalam negeri, yaitu PT Lotte Chemical di Cilegon dan PT Indo Acidatama di Karanganyar. Kebutuhan katalis Amberlyst-15 dapat dipenuhi melalui distributor dalam negeri, yaitu PT Arianto Darmawan, yang memiliki jaringan distribusi di beberapa kota besar seperti Bandung, Jakarta, Semarang, dan Surabaya. Dengan kondisi tersebut, lokasi Gresik dinilai memiliki keunggulan dalam hal ketersediaan bahan baku karena didukung oleh akses yang relatif dekat dan sistem distribusi yang memadai.

1.3 Penentuan Lokasi Pabrik

Penentuan lokasi pabrik merupakan keputusan strategis yang krusial dalam perancangan industri isobutil asetat. Berbagai faktor utama yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan lokasi pabrik meliputi ketersediaan dan kemudahan aksesibilitas terhadap bahan baku, ketersediaan infrastruktur dan jaringan transportasi, sumber daya manusia, kondisi geografis dan lingkungan, kebijakan pemerintah, serta potensi ekspansi fasilitas produksi di kemudian hari. Menurut Weber, 1929, dalam konteks perencanaan industri kimia, klasifikasi pabrik berdasarkan konsep *weight lossing industry* atau *weight gaining industry* menjadi pertimbangan fundamental yang mempengaruhi keputusan lokasi. Klasifikasi ini menentukan apakah fasilitas produksi sebaiknya berada dekat dengan sumber bahan baku atau terhadap pasar konsumen utama.

- *Weight Lossing Industry*

Industri atau pabrik dengan kategori *weight lossing* menghasilkan produk akhir dengan massa yang lebih rendah dibanding total massa bahan baku yang digunakan. Pada industri jenis ini, penempatan pabrik yang optimal adalah di area yang berdekatan dengan sumber bahan baku utama guna meminimalkan biaya logistik pengangkutan material mentah yang cenderung memiliki volume dan massa lebih besar daripada produk jadi.

- *Weight Gaining Industry*

Industri atau pabrik dengan kategori *weight gaining* menghasilkan produk akhir yang mempunyai massa lebih besar dibandingkan dengan bahan baku awalnya. Lokasi yang strategis untuk pabrik jenis ini adalah yang berdekatan dengan area pasar atau pusat distribusi untuk mengoptimalkan efisiensi biaya distribusi produk akhir.

Berdasarkan analisis karakteristik produksi, pabrik isobutil asetat tergolong dalam kategori *weight lossing industry* karena produk akhir yang dihasilkan memiliki massa yang lebih rendah dibanding total massa bahan baku yang digunakan. Dengan

demikian, lokasi optimal untuk pendirian pabrik adalah area yang memiliki kedekatan geografis dengan sumber pasokan bahan baku utama, khususnya asam asetat dan isobutanol yang merupakan reaktan dengan proporsi kebutuhan terbesar dalam proses produksi. Selain itu, terdapat faktor lain yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan lokasi pabrik, yaitu mengenai ketersediaan bahan baku, aksesibilitas terhadap utilitas (listrik, air, *steam*), ketersediaan tenaga kerja terampil, kedekatan terhadap target pasar, serta ruang yang memadai untuk pengembangan kapasitas produksi di masa mendatang. Berdasarkan pertimbangan holistik terhadap seluruh faktor tersebut, lokasi yang direkomendasikan untuk pendirian pabrik isobutil asetat dapat dilihat pada Tabel 1.4.

Tabel 1.4 Lokasi Pertimbangan Pendirian Pabrik

Parameter	Lokasi yang Dipertimbangkan		
	KIEC (Cilegon)	JIPE (Gresik)	KIKS (Semarang)
Ketersediaan Bahan Baku	Dekat dengan PT. Lotte Bp Chemical produsen asam asetat yang berlokasi di Cilegon, Banten	Dekat dengan PT. Petro Oxo Nusantara yang terletak di Gresik sebagai produsen isobutanol	Dekat dengan PT. Aciditama Chemical Industri yang terletak di Karanganyar, Jawa Tengah sebagai produsen asam asetat
Tenaga Kerja	Potensi sumber daya manusia baik. UMK Kota Cilegon sekitar Rp5.469.922,59 per bulan, termasuk tertinggi di Provinsi Banten	Potensi sumber daya manusia baik. UMK Kabupaten Gresik sekitar Rp5.195.401per bulan, termasuk tertinggi kedua di Jawa Timur	Potensi sumber daya manusia baik. UMK Kota Semarang sekitar Rp3.701.709 per bulan, termasuk tertinggi di Jawa Tengah
Fasilitas Transportasi	Jalur transportasi darat dan udara memadai serta dekat dengan Pelabuhan Indah Kiat, Pelabuhan Cilegon	Jalur transportasi darat memadai dan dekat dengan Pelabuhan Manyar.	Jalur transportasi darat dan udara memadai dan dekat dengan Pelabuhan Tanjung Mas.

Parameter	Lokasi yang Dipertimbangkan					
	KIEC (Cilegon)		JIPE (Gresik)		KIKS (Semarang)	
	Mandiri, dan Pelabuhan Merak.					
Letak Pasar	Prospek pemasaran sangat baik karena kawasan industri Banten merupakan salah satu pusat industri kimia di Indonesia sehingga jarak antara lokasi pabrik dengan segmen pasar relatif dekat.		Prospek pemasaran sangat baik karena kawasan industri Gresik merupakan pusat industri kimia di Jawa Timur sehingga jarak antara lokasi pabrik dengan segmen pasar relatif dekat.		Prospek pemasaran cukup baik karena kawasan industri di Jawa Tengah terus berkembang sehingga jarak antara lokasi pabrik dengan segmen pasar relatif dekat.	
	Pendistribusian produk untuk ekspor juga mudah karena dekat dengan pelabuhan.		Pendistribusian produk untuk ekspor juga mudah karena dekat dengan pelabuhan.		Pendistribusian produk untuk ekspor juga mudah karena dekat dengan pelabuhan.	
Utilitas	Utilitas seperti air industri, listrik, dan bahan bakar tersedia dengan baik di kawasan industri Cilegon.		Utilitas tersedia dengan baik karena didukung kawasan industri terpadu.		Utilitas tersedia dengan baik namun tidak sebesar kawasan industri di Cilegon dan Gresik.	
Perluasan Pabrik	Kawasan industri masih memungkinkan untuk perluasan pabrik.		Kawasan industri masih memungkinkan untuk perluasan pabrik.		Kawasan industri masih memungkinkan untuk perluasan pabrik.	
Akses Geografi dan Sosial	Relatif dekat dengan permukiman dan pusat aktivitas industri.		Relatif dekat dengan permukiman dan pusat industri.		Relatif dekat dengan permukiman dan kawasan industri.	

Parameter	Lokasi yang Dipertimbangkan		
	KIEC (Cilegon)	JIIPE (Gresik)	KIKS (Semarang)
Peraturan Pemerintah dan Keadaan Masyarakat	Regulasi industri telah diatur dalam peraturan daerah dan mendukung kegiatan industri.	Regulasi industri telah diatur dalam peraturan daerah dan mendukung kegiatan industri.	Regulasi industri telah diatur dalam peraturan daerah dan mendukung kegiatan industri.

Dalam perancangan suatu pabrik kimia, pemilihan lokasi merupakan salah satu faktor krusial yang sangat mempengaruhi keberhasilan operasional dan aspek ekonomi pabrik. Peters dkk., 2003, menyatakan terdapat sejumlah parameter utama yang harus dipertimbangkan dalam menentukan lokasi pabrik, antara lain ketersediaan bahan baku, kedekatan dengan pasar, ketersediaan energi, kondisi iklim, fasilitas transportasi, ketersediaan air, pembuangan limbah, tenaga kerja, regulasi dan perpajakan, karakteristik lokasi, keamanan, serta faktor sosial. Oleh karena itu, penentuan lokasi pabrik isobutil asetat dilakukan dengan mengevaluasi seluruh parameter tersebut secara komprehensif. Menurut Peters dkk., 2003, terdapat beberapa parameter utama yang perlu dipertimbangkan dalam penentuan lokasi pabrik. Berdasarkan parameter tersebut, pabrik isobutil asetat ini akan didirikan di Gresik dengan uraian sebagai berikut:

1. Ketersediaan Bahan Baku

Ketersediaan bahan baku merupakan faktor paling penting dalam pemilihan lokasi pabrik karena penggunaan bahan baku dalam jumlah besar dapat mempengaruhi biaya produksi secara signifikan. Aspek yang perlu diperhatikan, meliputi harga bahan baku, jarak dari sumber, biaya transportasi, kontinuitas dan keandalan pasokan, kemurnian bahan, serta kebutuhan penyimpanan. Lokasi yang dekat dengan sumber bahan baku akan memberikan keuntungan ekonomi melalui pengurangan biaya logistik dan penyimpanan.

Di wilayah Gresik, bahan baku utama berupa isobutanol dapat diperoleh dari kawasan industri setempat, khususnya yang berdekatan dengan PT Petro Oxo Nusantara. Sementara itu, asam asetat dapat dipasok dari PT Lotte Chemical di Cilegon maupun PT Indo Acidatama di Karanganyar. Katalis Amberlyst-15 dapat diperoleh melalui distributor dalam negeri yaitu PT Arianto Darmawan yang berlokasi utama di Bandung, Jakarta, Semarang, dan Surabaya. Dengan demikian,

lokasi Gresik dinilai sangat strategis karena memiliki akses langsung maupun tidak langsung terhadap seluruh bahan baku yang dibutuhkan.

2. Pasar

Lokasi pasar merupakan faktor penting karena berpengaruh terhadap biaya distribusi dan waktu pengiriman produk. Kedekatan dengan pasar akan memberikan keuntungan bagi produsen maupun konsumen karena mempermudah distribusi serta meningkatkan daya saing produk. Selain itu, pasar juga diperlukan tidak hanya untuk produk utama tetapi juga untuk produk samping.

Produk isobutil asetat banyak digunakan dalam industri cat, *coating*, tinta, dan pelarut kimia yang sebagian besar terpusat di Pulau Jawa, khususnya di Jawa Timur dan Jawa Barat. Gresik yang terletak dekat dengan Surabaya sebagai pusat industri dan distribusi nasional memberikan keuntungan dalam hal akses pasar. Hal ini memungkinkan distribusi produk dilakukan dengan lebih efisien dan cepat.

3. Ketersediaan Energi

Ketersediaan energi merupakan faktor penting karena sebagian besar industri kimia membutuhkan energi dalam jumlah besar untuk menjalankan proses produksi. Kebutuhan energi meliputi listrik dan bahan bakar untuk menghasilkan steam dan utilitas lainnya. Oleh karena itu, lokasi pabrik sebaiknya dekat dengan sumber energi atau memiliki akses yang mudah terhadap pasokan energi dengan biaya yang ekonomis.

Wilayah Gresik memiliki infrastruktur energi yang memadai, termasuk pasokan listrik dari PLN dan ketersediaan bahan bakar industri. Selain itu, keberadaan kawasan industri di Gresik mendukung distribusi energi yang stabil. Hal ini menjadikan Gresik sebagai lokasi yang mampu memenuhi kebutuhan energi pabrik secara optimal.

4. Iklim

Kondisi iklim dapat mempengaruhi desain dan biaya operasional pabrik. Iklim ekstrem seperti suhu yang terlalu tinggi atau rendah dapat meningkatkan biaya konstruksi dan operasional, misalnya melalui kebutuhan perlindungan peralatan atau sistem pendingin tambahan. Gresik memiliki iklim tropis dengan suhu yang relatif stabil sepanjang tahun dan tidak mengalami kondisi ekstrem. Kondisi ini menguntungkan karena tidak memerlukan perlindungan khusus terhadap peralatan maupun sistem tambahan yang kompleks, sehingga biaya investasi dan operasional dapat ditekan.

5. Transportasi

Fasilitas transportasi sangat penting untuk mendukung distribusi bahan baku dan produk. Transportasi dapat berupa jalur darat, laut, maupun rel, dan idealnya suatu lokasi memiliki lebih dari satu moda transportasi untuk meningkatkan fleksibilitas dan efisiensi distribusi. Gresik memiliki akses transportasi yang sangat baik, termasuk pelabuhan laut, jalan tol, serta kedekatan dengan pusat logistik di Surabaya. Hal ini memungkinkan distribusi bahan baku maupun produk dilakukan dengan berbagai moda transportasi, sehingga meningkatkan efisiensi dan menurunkan biaya logistik.

6. Ketersediaan Air

Air merupakan kebutuhan penting dalam industri kimia, baik untuk proses produksi, pendinginan, maupun pembangkitan steam. Lokasi pabrik harus memiliki sumber air yang memadai, baik dari sungai, danau, maupun sumber bawah tanah, serta mempertimbangkan kualitas dan kontinuitas pasokan. Gresik memiliki akses terhadap sumber air yang memadai, seperti Sungai Brantas dan sumber air industri lainnya. Ketersediaan air ini mampu memenuhi kebutuhan operasional pabrik secara berkelanjutan, sehingga mendukung kelancaran proses produksi.

7. Pembuangan Limbah

Pembuangan limbah merupakan aspek penting yang harus diperhatikan dalam pemilihan lokasi pabrik karena adanya regulasi lingkungan yang semakin ketat. Lokasi pabrik harus memiliki fasilitas yang memadai untuk pengolahan limbah cair, padat, maupun gas sebelum dilepaskan ke lingkungan. Selain itu, perlu dipertimbangkan juga kemungkinan perubahan regulasi di masa depan yang dapat menuntut standar pengolahan limbah yang lebih tinggi. Oleh karena itu, lokasi yang memiliki infrastruktur pengolahan limbah yang baik akan memberikan keuntungan dalam jangka panjang serta mengurangi risiko pelanggaran hukum.

Kawasan industri Gresik telah dilengkapi dengan sistem pengolahan limbah terpadu yang mampu menangani berbagai jenis limbah industri. Selain itu, keberadaan fasilitas ini mempermudah perusahaan dalam memenuhi standar baku mutu lingkungan yang ditetapkan oleh pemerintah. Gresik juga memiliki akses terhadap teknologi pengolahan limbah yang terus berkembang seiring dengan pertumbuhan industri di wilayah tersebut. Dengan demikian, pengelolaan limbah dari pabrik isobutil asetat dapat dilakukan secara efektif, aman, dan berkelanjutan.

8. Tenaga Kerja

Ketersediaan tenaga kerja merupakan faktor penting dalam mendukung kelancaran operasional pabrik. Aspek yang perlu diperhatikan meliputi jumlah tenaga kerja, tingkat keahlian, produktivitas, tingkat upah, serta kondisi kerja yang berlaku di suatu daerah. Selain itu, adanya industri sejenis di sekitar lokasi juga dapat mempengaruhi tingkat persaingan tenaga kerja dan potensi turnover karyawan. Oleh karena itu, lokasi dengan ketersediaan tenaga kerja yang cukup dan berkualitas akan lebih menguntungkan bagi operasional pabrik.

Gresik yang berdekatan dengan Surabaya memiliki sumber daya manusia yang melimpah, termasuk tenaga kerja terampil di bidang industri dan teknik. Selain itu, banyaknya perguruan tinggi di Jawa Timur menghasilkan lulusan yang siap bekerja di sektor industri kimia. Tingkat upah tenaga kerja di wilayah ini juga relatif kompetitif dibandingkan dengan wilayah industri lainnya. Dengan demikian, kebutuhan tenaga kerja untuk operasional pabrik dapat terpenuhi dengan baik dan berkelanjutan.

9. Regulasi & Pajak

Faktor regulasi dan perpajakan memiliki pengaruh besar terhadap biaya investasi dan operasional pabrik. Peraturan daerah, kebijakan pemerintah, serta sistem perpajakan harus diperhatikan karena dapat mempengaruhi kelancaran proses pembangunan dan operasional pabrik. Selain itu, proses perizinan yang rumit dapat menyebabkan keterlambatan dalam pembangunan pabrik dan meningkatkan biaya proyek. Oleh karena itu, lokasi dengan regulasi yang jelas dan mendukung kegiatan industri menjadi pilihan yang lebih baik.

Gresik merupakan salah satu kawasan industri yang telah berkembang pesat dan memiliki sistem regulasi yang relatif jelas serta terstruktur. Pemerintah daerah juga mendukung perkembangan industri melalui kemudahan perizinan dan penyediaan fasilitas industri. Selain itu, keberadaan kawasan industri membuat proses administrasi menjadi lebih efisien dibandingkan dengan daerah non-industri. Hal ini memberikan keuntungan dalam mempercepat realisasi pembangunan pabrik serta mengurangi hambatan birokrasi.

10. Karakteristik Lokasi

Karakteristik lokasi seperti kondisi tanah, topografi, dan ketersediaan lahan sangat mempengaruhi biaya konstruksi dan pengembangan pabrik. Lokasi dengan kondisi tanah yang stabil dan topografi yang sesuai akan mengurangi biaya

pembangunan serta mempermudah proses konstruksi . Selain itu, perlu dipertimbangkan juga ketersediaan lahan untuk ekspansi di masa depan agar pabrik dapat berkembang sesuai kebutuhan. Faktor lain seperti harga tanah dan kondisi lingkungan sekitar juga menjadi pertimbangan penting dalam pemilihan lokasi.

Gresik memiliki kawasan industri dengan kondisi lahan yang relatif datar dan stabil, sehingga mendukung pembangunan fasilitas industri. Selain itu, ketersediaan lahan yang luas memungkinkan pengembangan pabrik di masa depan tanpa perlu relokasi. Infrastruktur di kawasan ini juga telah berkembang dengan baik, sehingga mendukung kegiatan konstruksi dan operasional pabrik. Dengan demikian, karakteristik lokasi di Gresik sangat sesuai untuk pendirian pabrik isobutil asetat.

11. Keamanan

Keamanan merupakan faktor penting yang harus diperhatikan dalam pemilihan lokasi pabrik, terutama terkait risiko banjir dan kebakaran. Lokasi pabrik harus mempertimbangkan riwayat bencana alam serta ketersediaan sistem perlindungan terhadap kebakaran . Selain itu, akses terhadap fasilitas pemadam kebakaran dan sistem tanggap darurat juga menjadi aspek yang penting untuk mengurangi risiko kerugian. Oleh karena itu, lokasi yang memiliki sistem keamanan yang baik akan memberikan perlindungan terhadap aset dan operasional pabrik.

Kawasan industri Gresik telah dilengkapi dengan sistem proteksi kebakaran yang memadai, termasuk akses terhadap layanan pemadam kebakaran. Selain itu, lokasi ini relatif aman dari risiko banjir besar karena telah dirancang sebagai kawasan industri dengan sistem drainase yang baik. Infrastruktur keamanan yang tersedia juga mendukung penanganan keadaan darurat secara cepat dan efektif. Dengan demikian, tingkat risiko terhadap gangguan operasional akibat bencana dapat diminimalkan.

12. Faktor Sosial

Faktor sosial mencakup kondisi lingkungan masyarakat dan ketersediaan fasilitas umum yang mendukung kehidupan pekerja. Keberadaan fasilitas seperti perumahan, pendidikan, kesehatan, serta sarana rekreasi dapat mempengaruhi kenyamanan dan produktivitas tenaga kerja . Selain itu, kondisi sosial yang baik juga dapat meningkatkan stabilitas tenaga kerja dan mengurangi tingkat turnover karyawan. Oleh karena itu, lokasi dengan lingkungan sosial yang mendukung akan memberikan keuntungan jangka panjang bagi perusahaan.

Gresik dan Surabaya memiliki fasilitas sosial yang lengkap, termasuk rumah sakit, sekolah, pusat perbelanjaan, dan perumahan bagi pekerja. Selain itu, akses terhadap fasilitas transportasi umum juga mempermudah mobilitas tenaga kerja. Lingkungan sosial yang berkembang di wilayah ini turut mendukung kesejahteraan pekerja dan keluarganya. Dengan demikian, faktor sosial di Gresik sangat mendukung keberlangsungan operasional pabrik secara optimal.

Dengan faktor-faktor yang dijelaskan, lokasi spesifik pabrik akan didirikan di Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik, Provinsi Jawa Timur. Berdasarkan survei wilayah, di dalam kawasan industri tersebut masih ada lahan kosong yang strategis guna mendirikan pabrik. Wilayah lokasi pendirian pabrik ditampilkan pada Gambar 1.3.

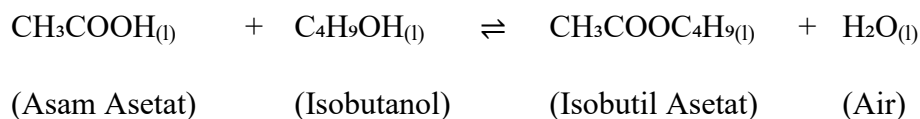


Gambar 1.3 Lokasi Pendirian Pabrik Isobutil Asetat

1.4 Tinjauan Proses

Pembuatan isobutil asetat pada skala industri umumnya dilakukan melalui proses esterifikasi fischer, yaitu reaksi antara asam karboksilat dan alkohol dengan bantuan katalis asam. Reaksi ini melibatkan asam asetat (CH_3COOH) dan isobutanol ($\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$) yang bereaksi membentuk ester (isobutil asetat) dan air sebagai produk samping. Untuk meningkatkan laju reaksi dan konversi, digunakan katalis asam padat seperti Amberlyst 15. Proses ini bersifat kesetimbangan sehingga biasanya dilakukan dengan pemanasan

dan penghilangan air untuk menggeser reaksi ke arah produk. Reaksi utama yang terjadi adalah sebagai berikut:



Di dalam reaksi ini:

- Asam asetat (CH_3COOH), berfungsi sebagai sumber gugus asil ($-\text{COOH}$) yang akan membentuk ester.
- Isobutanol ($\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$), berfungsi sebagai alkohol yang menyumbangkan gugus alkoksi ($-\text{OR}$) dalam pembentukan ester.
- Amberlyst-15, berfungsi sebagai katalis asam (resin penukar ion) yang menyediakan proton (H^+) untuk mempercepat reaksi esterifikasi tanpa ikut dikonsumsi.
- Air (H_2O), terbentuk sebagai produk sampingan dari reaksi antara gugus $-\text{OH}$ dari asam dan atom H dari alkohol.

1.4.1 Macam-Macam Proses Pembuatan Isobutil Asetat

a. Berdasarkan Reaksi

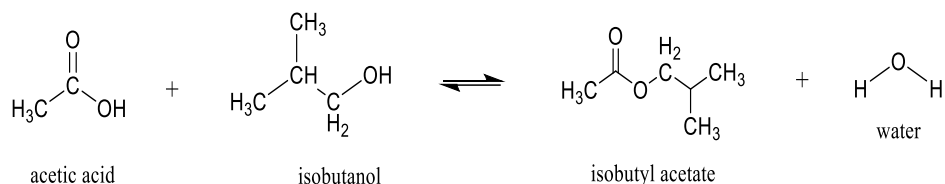
Menurut Martínez dkk., 2020, Pembuatan isobutil asetat dapat melalui dua reaksi, yaitu esterifikasi dan transesterifikasi.

- **Reaksi Esterifikasi**

Reaksi esterifikasi adalah reaksi antara asam organik dengan alkohol dalam keadaan asam membentuk produk utama senyawa ester dan produk samping air. Esterifikasi dapat terjadi dengan 3 cara, yaitu

- **Reaksi antara Asam Karboksilat dan Alkohol**

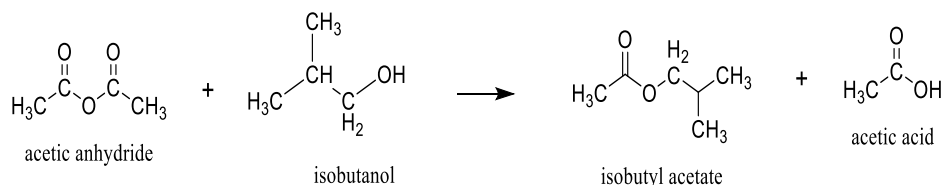
Reaksi ini merupakan esterifikasi fischer, yaitu reaksi antara asam asetat dan isobutanol dengan bantuan katalis asam menghasilkan isobutil asetat dan air. Reaksi ini bersifat reversibel (kesetimbangan) sehingga perlu pemanasan dan penghilangan air agar produk ester maksimal. Pada prosesnya, gugus karbonil dari asam akan diaktifkan oleh proton (H^+) dari katalis sehingga lebih mudah diserang oleh alkohol. Isobutanol kemudian bertindak sebagai nukleofil yang menyerang karbon karbonil, membentuk intermediet, hingga akhirnya terbentuk ester dan air. Mekanisme reaksi dapat dilihat pada Gambar 1.4.



Gambar 1.4 Reaksi antara Asam Karboksilat dan Alkohol

- **Reaksi antara Asam Anhidrida dan Alkohol**

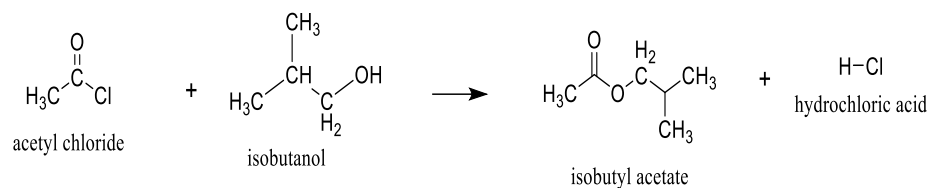
Reaksi ini terjadi antara asam anhidrida (misalnya anhidrida asetat) dengan isobutanol menghasilkan isobutil asetat dan asam asetat sebagai produk samping. Reaksi ini tidak memerlukan katalis karena asam anhidrida sangat reaktif dan memiliki energi aktivasi rendah. Dalam mekanismenya, isobutanol menyerang karbon karbonil anhidrida yang bersifat elektrofilik, membentuk intermediat tetrahedral yang kemudian terurai menjadi ester dan ion asetat. Ion asetat selanjutnya akan berikatan dengan proton membentuk asam asetat. Mekanisme reaksi dapat dilihat pada Gambar 1.5.



Gambar 1.5 Reaksi antara Asam Anhidrida dan Alkohol

- **Reaksi antara Asam Klorida dan Alkohol**

Reaksi ini melibatkan asetil klorida dengan isobutanol menghasilkan isobutil asetat dan HCl. Reaksi ini juga bersifat sangat cepat dan irreversibel serta tidak memerlukan katalis karena gugus Cl merupakan leaving group yang sangat baik. Atom klorin yang elektronegatif menyebabkan karbon karbonil sangat elektrofilik, sehingga mudah diserang oleh alkohol. Setelah terbentuk intermediat, gugus Cl akan lepas dan membentuk ion klorida, yang kemudian berikatan dengan proton menjadi HCl. Mekanisme reaksinya dapat dilihat pada Gambar 1.6.



Gambar 1.6 Reaksi antara Asam Klorida dan Alkohol

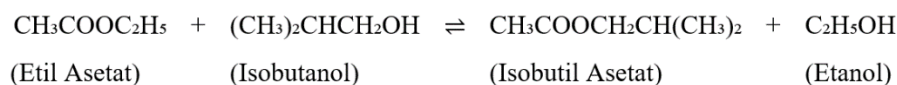
- **Reaksi Transesterifikasi**

Reaksi transesterifikasi adalah reaksi antara senyawa ester dengan alkohol, dimana gugus alkoksi ($-\text{OR}$) saling ditukar sehingga terbentuk produk utama berupa ester baru dan produk samping alkohol lama. Reaksi ini dapat berlangsung dalam kondisi asam maupun basa dan umumnya bersifat reversibel. Reaksi umumnya pada Gambar 1.7



Gambar 1.7. Reaksi Umum Transesterifikasi

Reaksi Pembentukan isobutil asetat dengan transesterifikasi dapat dilihat pada Gambar 1.8.



Gambar 1.8. Reaksi Isobutil Asetat dengan Transesterifikasi

- **Reaksi dalam Keadaan Asam**

Pada kondisi reaksi menggunakan katalis seperti H_2SO_4 , HCl , atau asam p-toluenesulfonat (PTSA). Mekanismenya diawali dengan protonasi gugus karbonil ester sehingga karbon karbonil menjadi lebih elektrofilik. Alkohol kemudian menyerang karbon tersebut membentuk intermediat, diikuti dengan pertukaran gugus alkoksi dan pelepasan alkohol lama. Reaksi dalam kondisi asam cenderung lebih stabil terhadap air dibandingkan kondisi basa, namun lajunya lebih lambat. Karena bersifat kesetimbangan, biasanya digunakan kelebihan alkohol atau penghilangan produk untuk meningkatkan hasil ester.

- **Reaksi dalam Keadaan Basa**

Pada kondisi basa, transesterifikasi berlangsung dengan bantuan katalis basa seperti NaOH , KOH , natrium metoksida (NaOCH_3), atau natrium etoksida (NaOC_2H_5). Dalam mekanismenya, basa akan

membentuk ion alkoksida ($R'O^-$) dari alkohol yang bersifat sangat reaktif sebagai nukleofil. Ion ini kemudian menyerang karbon karbonil pada ester, membentuk intermediat tetrahedral. Selanjutnya, gugus alkoksida lama ($R'-O^-$) akan terlepas dan membentuk alkohol lama setelah menangkap proton. Reaksi dalam kondisi basa umumnya berlangsung lebih cepat, namun sensitif terhadap keberadaan air karena dapat menyebabkan reaksi samping (saponifikasi).

b. Berdasarkan Metode

Menurut Martínez dkk., 2020, ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk memproduksi Isobutil Asetat. Beberapa metode tersebut, yaitu:

- **Pervaporasi (*Pervaporation Assisted Process*)**

Pervaporasi merupakan metode pemisahan berbasis membran yang digunakan sebagai alternatif atau pelengkap distilasi konvensional. Dalam proses ini, campuran cair dikontakkan dengan membran selektif sehingga komponen tertentu dapat menembus membran dan kemudian menguap pada sisi permeat. Uap yang terbentuk selanjutnya dikondensasikan untuk memperoleh produk terpisah. Berbeda dengan distilasi, proses ini tidak bergantung pada perbedaan titik didih secara langsung, melainkan pada selektivitas membran terhadap komponen tertentu. Pada penelitian yang dibahas, pervaporasi digunakan dalam reaktor membran untuk menghilangkan air atau ester selama reaksi esterifikasi sehingga kesetimbangan reaksi bergeser ke arah produk dan meningkatkan konversi. Selain itu, metode ini lebih hemat energi dan memiliki desain yang lebih kompak dibandingkan distilasi tradisional.

- **Extractive Distillation (Destilasi Ekstraktif)**

Destilasi ekstraktif merupakan metode pemisahan yang digunakan untuk memisahkan campuran azeotrop dengan menambahkan zat ketiga yang disebut entrainer atau pelarut. Penambahan pelarut ini bertujuan untuk mengubah volatilitas relatif komponen dalam campuran sehingga pemisahan menjadi lebih mudah dilakukan melalui distilasi. Dalam studi yang dibahas, pelarut seperti *butyl propionate* digunakan untuk memfasilitasi pemisahan antara isobutanol dan *isobutyl acetate* yang membentuk azeotrop. Proses ini

melibatkan interaksi fisik atau kimia antara pelarut dan salah satu komponen sehingga perbedaan volatilitas meningkat. Keberhasilan metode ini sangat bergantung pada pemilihan pelarut yang tepat karena pelarut harus mampu meningkatkan efisiensi pemisahan tanpa menimbulkan kesulitan dalam proses pemulihan kembali.

- ***Pressure Swing Distillation (PSD)***

Pressure-swing distillation merupakan teknik pemisahan yang memanfaatkan perubahan tekanan untuk menggeser komposisi azeotrop suatu campuran. Prinsip dasarnya adalah bahwa komposisi azeotrop dapat berubah dengan perubahan tekanan sehingga memungkinkan pemisahan komponen yang sebelumnya sulit dipisahkan dengan distilasi konvensional. Proses ini umumnya menggunakan dua kolom distilasi dengan tekanan berbeda, yaitu tekanan rendah dan tekanan tinggi. Dengan memanfaatkan perbedaan ini, pemisahan dapat dilakukan secara bertahap hingga diperoleh komponen yang lebih murni. Dalam penelitian yang dibahas, metode ini dibandingkan dengan destilasi ekstraktif dan menunjukkan keunggulan dari sisi ekonomi karena tidak memerlukan pelarut tambahan.

- ***Reactive Distillation (RD)***

Reactive distillation merupakan metode intensifikasi proses yang menggabungkan reaksi kimia dan pemisahan distilasi dalam satu unit operasi. Dalam sistem ini, reaktan bereaksi di dalam kolom distilasi, sementara produk yang terbentuk langsung dipisahkan berdasarkan volatilitasnya. Pemisahan produk secara kontinyu ini menyebabkan kesetimbangan reaksi bergeser ke arah pembentukan produk sehingga meningkatkan konversi secara signifikan. Metode ini banyak digunakan dalam reaksi esterifikasi, seperti pengolahan *fusel oil* menjadi ester bernilai ekonomi. Selain meningkatkan efisiensi reaksi, *reactive distillation* juga mampu mengurangi jumlah peralatan, konsumsi energi, serta biaya operasional dibandingkan proses konvensional.

- ***Reactive Divided Wall Column (RDWC)***

Reactive divided-wall column merupakan pengembangan dari *reactive distillation* yang mengintegrasikan dinding pemisah di dalam kolom distilasi. Desain ini memungkinkan pemisahan multi-komponen secara simultan dalam satu kolom sekaligus berlangsungnya reaksi kimia. Dengan adanya dinding

pemisah, distribusi aliran dalam kolom dapat diatur sehingga efisiensi pemisahan meningkat dan kebutuhan energi berkurang. Dalam penelitian yang dibahas, metode ini digunakan untuk sintesis *isobutyl acetate* dengan integrasi sistem heat pump untuk meningkatkan efisiensi energi. Hasilnya menunjukkan bahwa teknologi ini mampu mengurangi konsumsi energi, emisi CO₂, dan biaya operasional secara signifikan dibandingkan metode konvensional

1.4.2 Kegunaan Produk

Isobutil asetat merupakan senyawa kimia yang memiliki berbagai kegunaan penting di industri. Senyawa ini terutama digunakan sebagai pelarut (*solvent*) dalam industri pelapis, seperti cat, tinta, dan resin karena kemampuannya melarutkan berbagai bahan serta memberikan hasil lapisan yang baik. Selain itu, isobutil asetat juga dimanfaatkan dalam industri *flavor* dan *fragrance* karena memiliki aroma yang enak sehingga banyak digunakan dalam produk parfum, kosmetik, serta perisa makanan dan minuman. Tidak hanya itu, isobutil asetat juga berperan sebagai bahan antara (*intermediate*) dalam proses produksi berbagai bahan kimia lainnya. Dengan sifatnya yang *biodegradable* dan sesuai dengan regulasi lingkungan, senyawa ini menjadi alternatif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan pelarut berbasis petrokimia (Martínez dkk., 2020)

1.4.3 Sifat Fisika dan Kimia

a. Sifat Fisika dan Kimia Bahan Baku Utama

1. Isobutanol

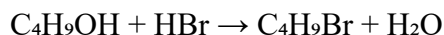
Menurut Sigma-Aldrich, 2013, sifat fisika isobutanol sebagai berikut:

Rumus Molekul	: C ₄ H ₁₀ O
Berat Molekul	: 74,12 g/mol
Wujud	: Cair
Titik Didih	: 108 °C
Titik Beku	: -108 °C
Suhu Kritis	: 548 K
Tekanan Kritis (atm)	: 45 bar
Densitas	: 802 kg/m ³
Kemurnian	: 99 %
Nama Lain	: isobutanol, 2-methyl-1-propanol

Menurut OpenStax (2023a; 2023b), sifat kimia isobutanol sebagai berikut:

1. Reaksi dengan asam halida (HBr)

Isobutanol bereaksi dengan HBr membentuk isobutil bromida melalui reaksi substitusi. Reaksinya adalah



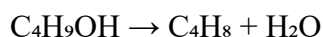
2. Oksidasi

Isobutanol sebagai alkohol primer dapat teroksidasi menjadi isobutiraldehid, dan selanjutnya dapat teroksidasi menjadi asam isobutirat. Reaksinya adalah



3. Dehidrasi

Isobutanol direaksikan dengan asam sulfat pekat akan mengalami dehidrasi membentuk alkena (isobutena). Reaksinya adalah



2. Asam Asetat

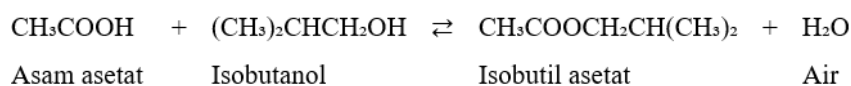
Menurut SAFC, 2019, sifat fisika asam asetat sebagai berikut:

Rumus Molekul	: CH_3COOH
Berat Molekul	: 60,05 g/mol
Wujud	: Cair
Titik Didih	: 118,1 °C
Titik Leleh	: 16,7 °C
Suhu Kritis	: 594,4 K
Tekanan Kritis (atm)	: 57,9 bar
ΔH standar	: -435,13 kJ/mol
ΔG Gibbs	: -376,94 kJ/mol
Densitas	: 1040 kg/m ³ (pada 20 °C)
Nama Lain	: Ethanoic acid, acetic acid, vinegar acid

Menurut OpenStax, 2023, sifat kimia asam asetat sebagai berikut:

1. Esterifikasi

Asam asetat direaksikan dengan isobutanol membentuk isobutil asetat. Reaksinya adalah



2. Reaksi dengan Diazometana

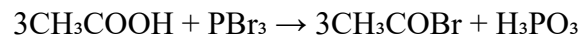
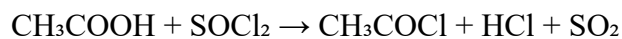
Asam asetat bereaksi dengan diazometana membentuk metil asetat dan gas nitrogen.



Asam asetat Diazometana Metil asetat Nitrogen

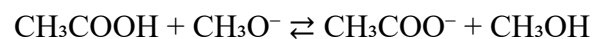
3. Reaksi dengan senyawa klorida dan bromida

Asam asetat dapat bereaksi dengan thionyl klorida, fosfor pentaklorida, dan fosfor tribromida membentuk asil halida.



4. Reaksi dengan basa (natrium metoksida)

Asam asetat bereaksi dengan basa kuat seperti natrium metoksida membentuk ion asetat dan alkohol.



b. Sifat Fisika dan Kimia Bahan Pembantu

1. Amberlyst-15

Menurut Dow, 2013, sifat fisika Amberlyst-15 sebagai berikut:

Rumus Molekul	: $(\text{C}_{10}\text{H}_{10})_m \cdot (\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_3\text{S})_m$
Berat Molekul	: 314,4 g/mol
Wujud	: Padat (25 °C, 1 atm)
Functional Group	: Sulfonic acid ($-\text{SO}_3\text{H}$)
Densitas	: 1,2 g/mL (25 °C)
Konsentrasi	: $\geq 4,7$ eq/kg
Catalyst Volatiles	: $\geq 1,0$ %
Luas Permukaan	: 53 m ² /g
Ukuran Partikel	: 0,3 – 0,425 mm
Diameter Pori	: 300 Å
Total Volume Pori	: 0,4 cc/g
Maksimal Suhu Operasi	: 120 °C (250 °F)
Minimum Bed Depth	: 600 mm (24 inches)
Laju Alir Operasi	: 1 – 5 BV/h (LHSV)
Batas Penurunan Tekanan	: 1 bar (15 psig)

Titik Didih	: 516,7 °C
Umur Katalis	: ± 2 tahun

c. Sifat Fisika dan Kimia Produk

1. Isobutil Asetat

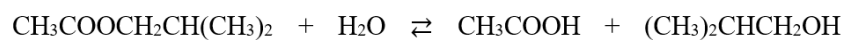
Menurut Chemos, 2019, sifat fisika isobutil asetat sebagai berikut:

Rumus Kimia	: CH ₃ COOCH ₂ CH(CH ₃) ₂
Berat Molekul	: 116,16 g/mol
Wujud	: Cair
Titik Didih	: ±118°C
Titik Beku	: -90°C
Temperatur Kritis	: ±560 K
Tekanan Kritis	: ±30 bar
Volume Kritis	: ±0,36 m ³ /mol
Densitas (30°C)	: ±0,87 g/cm ³
Kelarutan air	: ±5,6 g/L
Nama Lain	: Isobutyl ethanoate

Menurut OpenStax, 2023e, sifat kimia isobutil asetat sebagai berikut:

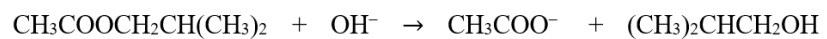
1. Hidrolisis Asam

Isobutil asetat terhidrolisis dengan katalis asam menghasilkan asam asetat dan isobutanol, dengan penggunaan air berlebih untuk menggeser kesetimbangan ke arah produk.



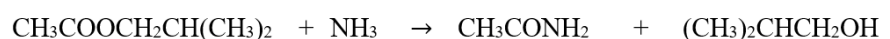
2. Hidrolisis Basa (Penyabunan)

Reaksi berlangsung dalam suasana basa menghasilkan garam karboksilat dan alkohol (isobutanol).



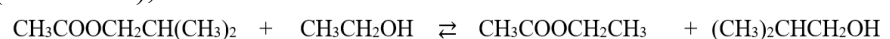
3. Amonolisis

Isobutil asetat bereaksi dengan amonia menghasilkan amida (asetamida) dan isobutanol.



4. Transesterifikasi

Isobutil asetat bereaksi dengan alkohol lain membentuk ester baru dan alkohol (isobutanol), reaksi bersifat reversibel.



1.5 Tinjauan Proses Secara Umum

1.5.1 Ditinjau dari Reaksi

Pada Tabel 1.5 menunjukkan beberapa tinjauan reaksi yang dipertimbangkan untuk digunakan dalam proses pembuatan isobutil asetat.

Tabel 1.5 Pertimbangan Proses Reaksi Pembuatan Isobutil Asetat

Jenis Reaksi	Kelebihan	Kekurangan
Esterifikasi (Asam Karboksilat + Alkohol / Fischer)	• Bahan baku mudah diperoleh • Proses umum dan banyak digunakan di industri • Kondisi operasi relatif sederhana	• Reaksi reversibel (kesetimbangan) • Konversi tidak maksimal tanpa penghilangan air • Membutuhkan katalis asam dan pemanasan
Esterifikasi (Asam Anhidrida + Alkohol)	• Reaksi lebih cepat • Tidak memerlukan katalis • Konversi lebih tinggi dibanding asam karboksilat	• Bahan baku lebih mahal • Menghasilkan produk samping (asam asetat) • Kurang ekonomis untuk skala besar
Esterifikasi (Asam Klorida + Alkohol)	• Reaksi sangat cepat • Bersifat irreversibel (hasil tinggi) • Tidak memerlukan katalis	• Menghasilkan HCl yang korosif • Penanganan lebih sulit dan berbahaya • Biaya operasional tinggi (material tahan korosi)
Transesterifikasi (Kondisi Asam)	• Lebih stabil terhadap air • Dapat menggunakan berbagai jenis ester	• Reaksi lambat • Bersifat reversibel • Memerlukan katalis asam
Transesterifikasi (Kondisi Basa)	• Reaksi lebih cepat - Konversi tinggi dalam waktu singkat	• Sensitif terhadap air (terjadi saponifikasi) • Membutuhkan kondisi kering

Jenis Reaksi	Kelebihan	Kekurangan
		• Pemisahan produk bisa lebih kompleks

1.5.2 Ditinjau dari Metode Proses

Ada beberapa metode Distilasi yang dapat digunakan untuk memproduksi Isobutil asetat. Pada Tabel 1.6 tertera hasil perbandingan dari masing masing metode distilasi.

Tabel 1.6 Pertimbangan Metode Pembuatan Isobutil Asetat

Metode	Kelebihan	Kekurangan
Pervaporasi	• Hemat energi dibanding distilasi konvensional. • Efektif memisahkan campuran azeotrop. • Konversi mencapai 96,41% jika dikombinasikan dengan reaktor (Korkmaz <i>et al.</i>, 2011).	• Biaya membran tinggi dan umur terbatas akibat <i>fouling</i>. • Kapasitas produksi kecil sehingga kurang cocok untuk skala industri besar. • Selektivitas bergantung pada jenis membran.
Distilasi Ekstraktif	• Efektif memisahkan campuran azeotrop. • Kemurnian produk mencapai 99,9 mol% (Muñoz <i>et al.</i>, 2006). • Meningkatkan perbedaan volatilitas antar komponen.	• Membutuhkan pelarut tambahan (<i>entrainer</i>) dan unit <i>solvent recovery</i>. • Risiko kontaminasi produk oleh pelarut. • Konsumsi energi relatif tinggi.
Pressure Swing Distillation	• Tidak membutuhkan pelarut tambahan. • Kemurnian produk mencapai 99,5% IbAC (Muñoz <i>et al.</i>, 2006). • Cocok untuk sistem azeotrop yang sensitif terhadap perubahan tekanan.	• Membutuhkan dua kolom dengan tekanan berbeda sehingga investasi lebih tinggi. • Konsumsi energi besar akibat perubahan tekanan. • Operasi lebih kompleks.
Distilasi Konvensional (Batch)	• Teknologi sederhana dan telah banyak digunakan di industri. • Mudah dioperasikan. • Investasi awal relatif rendah.	• Konversi terbatas sekitar 70% akibat kesetimbangan reaksi (Martínez <i>et al.</i>, 2020). • Tidak efektif untuk sistem azeotrop. • Konsumsi energi tinggi. • Membutuhkan unit reaktor dan kolom distilasi terpisah.

Metode	Kelebihan	Kekurangan
Reactive Distillation	• Menggabungkan reaksi dan pemisahan dalam satu unit sehingga efisiensi proses lebih tinggi. • Konversi asam asetat 99,96% dan isobutanol 98,96%, jauh melampaui batas kesetimbangan reaksi (~70%). • Kemurnian produk mencapai 99,8% berat (<i>urethane grade</i>). • <i>Energy intensity</i> hanya 0,77 kW/kg IbAC. • <i>Production cost</i> sebesar 0,98 USD/kg IbAC. • Mengurangi jumlah peralatan sehingga menekan biaya investasi (<i>CAPEX</i>) (Martínez <i>et al.</i>, 2020).	• Desain dan perancangan lebih kompleks. • Kontrol operasi lebih sulit. • Tidak semua jenis reaksi cocok diterapkan. • Sensitif terhadap perubahan kondisi operasi.

Dalam perancangan pabrik isobutil asetat ini, metode yang dipilih adalah *reactive distillation* yang dikombinasikan dengan reaksi esterifikasi fischer. Pemilihan metode ini didasarkan pada keunggulan proses *reactive distillation* yang mampu mengintegrasikan reaksi kimia dan pemisahan dalam satu unit operasi sehingga meningkatkan efisiensi proses secara keseluruhan. Pada reaksi esterifikasi fischer antara asam asetat dan isobutanol, reaksi bersifat kesetimbangan sehingga konversi dapat dibatasi oleh pembentukan air sebagai produk samping. Dengan menggunakan *reactive distillation*, produk hasil reaksi, seperti air atau ester dapat dipisahkan secara simultan selama proses berlangsung sehingga kesetimbangan reaksi akan bergeser ke arah pembentukan produk sesuai prinsip Le Chatelier. Hal ini menyebabkan peningkatan konversi reaktan tanpa memerlukan kondisi operasi yang ekstrem. Selain itu, metode ini juga mampu mengurangi jumlah peralatan, konsumsi energi, serta biaya operasional dibandingkan dengan proses konvensional yang memisahkan unit reaksi dan distilasi. Oleh karena itu, *reactive distillation* dengan esterifikasi fischer dipilih sebagai metode yang paling efektif dan ekonomis dalam produksi isobutil asetat.