

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri kimia memegang peranan krusial sebagai pendukung kemajuan beragam sektor lain, termasuk farmasi, pangan, energi, dan manufaktur. Catatan dari Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2025 menunjukkan bahwa tingkat pertumbuhan industri manufaktur mencapai 5,68%. Kemajuan industri ini berkontribusi pada peningkatan permintaan bahan kimia, yang berfungsi sebagai bahan dasar utama maupun bahan pendukung dalam tahapan produksi.

Asam fenil asetat adalah senyawa organik yang memiliki peran penting dalam beragam sektor industri di Indonesia. Penggunaan utamanya adalah sebagai bahan baku untuk sintesis penisilin dan fenilaseton, yang kemudian digunakan dalam produksi amfetamin. Lebih lanjut, asam fenil asetat juga diaplikasikan dalam industri parfum melalui senyawa-senyawa seperti metil fenilasetat, asam etil fenilasetat, dan asam amil fenilasetat. Di sektor pertanian, senyawa ini berfungsi sebagai komponen dalam pembuatan insektisida, rodentisida, dan regulator pertumbuhan tanaman (ZPT) yang esensial untuk perkembangan vegetatif. Dalam ranah farmasi, asam fenil asetat dimanfaatkan sebagai bahan dasar formulasi anestesi, analgesik, dan antiseptik (Ramzan *et al.*, 2022).

Informasi yang dikumpulkan dari Badan Pusat Statistik (BPS) mengindikasikan bahwa pasokan asam fenil asetat di dalam negeri masih sangat bergantung pada komoditas yang berasal dari luar negeri. Dengan demikian, inisiasi fasilitas produksi asam fenil asetat di Indonesia menawarkan prospek yang signifikan untuk mengimbangi permintaan pasar, menurunkan ketergantungan terhadap barang impor, dan mengapresiasi potensi industri kimia domestik.

1.2 Kapasitas Rancangan

Dalam merancang pabrik asam fenil asetat, perlu memperhatikan aspek-aspek dalam pemilihan kapasitas, seperti:

- a. Prediksi kebutuhan asam fenil asetat
- b. Ketersediaan bahan baku
- c. Kapasitas minimal pabrik asam fenil asetat
- d. Kapasitas pabrik asam fenil asetat yang direncanakan

1.2.1 Proyeksi Kebutuhan di Indonesia

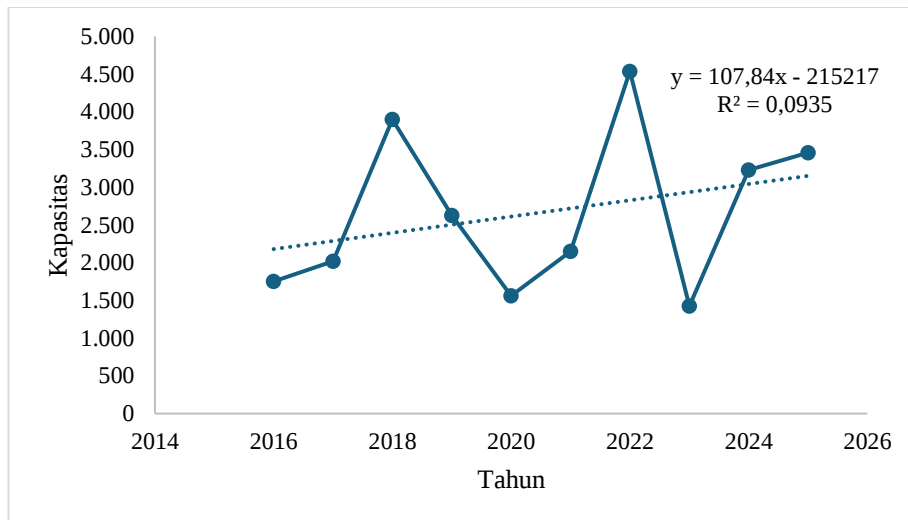
Saat ini belum ada pabrik asam fenil asetat yang berdiri di Indonesia. Oleh karena itu, untuk memenuhi kebutuhan asam fenil asetat di Indonesia dilakukan 100% melalui

kegiatan impor dari luar negeri. Berdasarkan data dari Biro Pusat Statistik (BPS) diperoleh nilai impor asam fenil asetat dari tahun 2016 – 2025 disajikan pada Tabel 1.1

Tabel 1.1 Data Impor Asam Fenil Asetat (BPS, 2025)

Tahun	Impor	Prediksi %impor
2016	1.751	-
2017	2.018	15,248
2018	3.901	93,310
2019	2.627	-32,658
2020	1.560	-40,617
2021	2.151	37,885
2022	4.538	110,972
2023	1.426	-68,576
2024	3.227	126,297
2025	3.460	7,220
Total	26.659	249,081
i (Pertumbuhan rata-rata per tahun)		24,908
		0,2491

Berdasarkan Tabel 1.1, impor asam fenil asetat di Indonesia pada periode 2016–2025 menunjukkan kecenderungan yang berfluktuatif dengan variasi kenaikan dan penurunan setiap tahunnya. Nilai impor mengalami peningkatan signifikan pada beberapa tahun, khususnya pada 2018 dan 2022, sementara pada tahun-tahun lain terjadi penurunan. Secara keseluruhan, total impor selama periode tersebut tercatat sebesar 26.659 dengan rata-rata pertumbuhan tahunan sebesar 24,908%. Selain itu, hasil prediksi impor yang dihitung menggunakan metode *discounted* menunjukkan tren yang relatif stabil dengan kecenderungan meningkat, yang mencerminkan potensi kebutuhan asam fenil asetat di Indonesia pada tahun-tahun mendatang.



Gambar 1.1 Grafik Pertumbuhan Impor Asam Fenil Asetat di Indonesia (BPS, 2025)

Dari data impor asam fenil asetat di Indonesia mengalami fluktuasi dari tahun 2020 hingga tahun – tahun berikutnya. Hal itu dikarenakan di Indonesia belum ada pabrik yang memproduksi asam fenil asetat. Prediksi dilakukan dengan menggunakan metode *discounted*. Penentuan jumlah impor dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

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

Berdasarkan persamaan di atas, kebutuhan tahun 2030 yaitu sebesar 15.780 ton/tahun.

1.2.2 Ketersediaan Bahan Baku

Produksi asam fenil asetat memerlukan bahan mentah utama yaitu benzil sianida, asam sulfat, dan air. Ketersediaan bahan baku untuk sintesis asam fenil asetat dapat diamati pada tabel yang dilampirkan. Benzil sianida dan asam sulfat merupakan reagen esensial dalam fabrikasi asam fenil asetat. Kuantitas benzil sianida dan asam sulfat yang dibutuhkan untuk menghasilkan asam fenil asetat sebanyak 68.000 ton per tahun dapat dihitung menggunakan prinsip stoikiometri. Perhitungan kebutuhan reagen, termasuk benzil sianida, asam sulfat, dan air, berdasarkan stoikiometri disajikan sebagai berikut:

	C_8H_7N	+	$\frac{1}{2}H_2SO_4$	+	$2H_2O$	$\rightarrow$	$C_8H_8O_2$	+	$\frac{1}{2}(NH_4)_2SO_4$
Mol	130.719		130.719		261.438		0		0
Reaksi	-130.719		-65.359		-261.438		+130.719		+65.359
Sisa	0		65.359		0		130.719		65.359

Untuk menghitung kebutuhan bahan baku, apabila akan diproduksi asam fenil asetat sebesar 16.000 ton/tahun, maka:

$$N \text{ produk aktual} = \text{Kapasitas produksi} : \text{BM produk}$$

$$\begin{aligned}
 &= 16.000 : 136 \\
 &= 117.647 \text{ kmol/tahun} \\
 \text{N produk teoritis} &= \text{N produk aktual} : \text{Yield} \\
 &= 117.647 : 90\% \\
 &= 130.718 \text{ kmol/tahun} \\
 \text{C}_8\text{H}_8\text{O}_2 &= 90\% \times 16.000 \\
 &= 14.400 \text{ ton/tahun} \\
 (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 &= 10\% \times 16.000 \\
 &= 1.600 \text{ ton/tahun}
 \end{aligned}$$

Kebutuhan Benzil Sianida

Dalam referensi yang digunakan yaitu (Organic Syntheses, 2014) didapatkan presentase yield sebesar 90% maka kebutuhan benzil sianida dapat ditentukan melalui perhitungan berikut.

$$\begin{aligned}
 m \text{ C}_8\text{H}_7\text{N} &= n \text{ teoritis} \times \text{BM} \\
 &= 130.718 \text{ kmol} \times 117 \\
 &= 15.294 \text{ ton/tahun} \\
 m \text{ H}_2\text{O} &= n \text{ teoritis} \times \text{BM} \\
 &= 261.438 \text{ kmol} \times 18 \\
 &= 4.705 \text{ ton/tahun} \\
 m \text{ H}_2\text{SO}_4 &= n \text{ teoritis} \times \text{BM} \\
 &= 130.718 \text{ kmol} \times 98 \\
 &= 6.405 \text{ ton/tahun}
 \end{aligned}$$

Secara stoikiometri untuk memproduksi asam fenil asetat sebanyak 16.000 ton/tahun dibutuhkan 15.294 ton/tahun benzil sianida, 4.705 ton/tahun air, dan 12.810 ton/tahun asam sulfat. Bahan baku pembuatan asam fenil asetat yaitu benzil sianida di impor dari Sheetal Chemicals, Mumbai, India. Sedangkan bahan baku asam sulfat dari PT Petrokimia Gresik, sehingga lokasi pabrik dipilih dengan pelabuhan dan PT Petrokimia Gresik untuk meminimalkan biaya dan untuk meningkatkan efisiensi waktu pengiriman, serta air memanfaatkan aliran Sungai Bengawan Solo $\pm$ 10 km dari lokasi pabrik.

1.2.3 Kapasitas Minimal Pabrik Asam Fenil Asetat

Kapasitas pabrik yang akan dibangun mesti memenuhi atau melebihi kapasitas minimum yang ditetapkan, atau setidaknya setara dengan kapasitas pabrik yang telah beroperasi. Berdasarkan temuan dari Chemicals Research pada tahun 2024, paparan

mengenai kapasitas pabrik Asam Fenil Asetat di seluruh dunia dirangkum dalam Tabel 1.2.

Tabel 1.2 Pabrik Asam Fenil Asetat di Dunia (Chemical Research, 2024)

Pabrik	Lokasi	Kapasitas (Ton/Tahun)
Hebei Chengxin	Henei, China	15.000
White Deer	Shanghai, China	1.200
TUL Corporation	Gujarat, India	25.000
Alembic Pharmaceuticals	Vadodara, India	9.600
Yogi Dye Chem Industries	Maharasgtra, India	35.000
Hangzhou Lane Technology	Zhejiang, China	10.000

1.2.4 Prospek Penjualan Asam Fenil Asetat di Indonesia

Asam fenil asetat memiliki berbagai kegunaan vital di sektor industri Indonesia, khususnya sebagai komponen utama dalam sintesis obat-obatan seperti *penisilin* dan sediaan farmasi lainnya, serta sebagai prekursor dalam produksi parfum, insektisida, dan *agrokimia*. Saat ini, pasokan domestik asam fenil asetat masih bergantung pada impor dikarenakan belum adanya fasilitas produksi lokal. Lebih lanjut, analisis pasar global menunjukkan bahwa permintaan asam fenil asetat diperkirakan akan mengalami kenaikan moderat hingga tahun 2030. Pertumbuhan ini terutama didorong oleh ekspansi industri farmasi dan peningkatan penggunaan *agrokimia* di wilayah Asia, termasuk Indonesia. Fenomena ini mengindikasikan bahwa pasar untuk produk asam fenil asetat memiliki potensi yang signifikan di masa mendatang.

Tabel 1.3 Industri Pengguna Asam Fenil Asetat di Indonesia (BPS, 2024)

Perusahaan	Lokasi	Produk
PT. Phapros Tbk	Surabaya, Jawa Timur	Antibiotik, dan <i>penicillin</i>
PT Bernofarm Pharmaceutical	Sidoarjo, Jawa Timur	Antibiotik dan API
PT Sanbe Farma	Sidoarjo, Jawa Timur	Antibiotik dan farmasi
PT Petrosida Gresik	Gresik, Jawa Timur	Pestisida dan <i>agrochemical</i>
PT Sumber Makmur Agroindo	Surabaya, Jawa Timur	Pestisida
PT Kalbe Farma Tb	Bekasi, Jawa Barat	Antibiotik dan API
PT Givaudan Indonesia	Karawang, Jawa Barat	<i>Flavor</i> dan <i>fragrance</i>

PT Griff Prima Abadi	Tangerang, Banten	<i>Fragrance</i>
PT BASF Indonesia	Jakarta	<i>Fine chemicals</i>

1.2.5 Penentuan Kapasitas Produksi

Pabrik asam fenil asetat direncanakan mulai beroperasi pada tahun 2030. Penetapan kapasitas pabrik dilakukan berdasarkan persamaan neraca massa peredaran produk, yaitu:

$$m1 + m2 + m3 = m4 + m5$$

Dimana,

m1 = Jumlah impor produk asam fenil asetat

m2 = Jumlah produksi asam fenil asetat dalam negeri

m3 = Jumlah kebutuhan (kapasitas produksi) asam fenil asetat

m4 = Jumlah ekspor produk asam fenil asetat

m5 = Jumlah konsumsi asam fenil asetat

Data impor asam fenil asetat di Indonesia digunakan sebagai dasar penentuan kebutuhan asam fenil asetat nasional. Berdasarkan data tersebut, diperoleh nilai m5 sebesar 15.780 ton/tahun. Perhitungan kapasitas pabrik asam fenil asetat pada tahun 2030 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 m3 &= 1,5 \times (m4 + m5) - (m1 + m2) \\
 &= 1,5 \times 10.520 \\
 &= 15.780 \\
 &= 16.000 \text{ ton/tahun}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, kebutuhan asam fenil asetat pada tahun 2030 diperkirakan sebesar 15.780 ton/tahun. Kapasitas pabrik dirancang sebesar 16.000 ton/tahun. Dengan demikian, diperoleh peluang kapasitas sebesar 51,1% yang digunakan sebagai faktor pengaman untuk mengantisipasi pertumbuhan konsumsi dan menjaga keberlanjutan pasokan.

1.3 Penentuan Lokasi Pabrik

Dalam pra rancangan pabrik, salah satu hal penting yang harus diperhatikan adalah lokasi pabrik akan didirikan. Lokasi dimana pabrik itu didirikan merupakan faktor strategis dalam perancangan pabrik yang tidak dapat diabaikan, mengingat pemilihan lokasi yang tepat akan menentukan aksesibilitas bahan baku, distribusi produk, serta efisiensi biaya operasional dalam jangka panjang. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam

menentukan lokasi pabrik adalah biaya produksi, ketersediaan bahan baku dan tenaga kerja, akses untuk distribusi, dan banyak faktor lainnya.

Salah satu faktor penting dalam pemilihan lokasi pabrik adalah konsep *weight gain* dan *weight loss*. Kedua teori ini digunakan untuk menentukan lokasi strategis berdasarkan perubahan berat yang terjadi selama proses produksi. Teori *weight gain* menunjukkan bahwa pabrik sebaiknya didirikan dekat dengan pasar, yaitu ketika berat produk akhir lebih besar dibandingkan bahan baku. Sebaliknya, teori *weight loss* menyarankan pabrik didirikan dekat dengan sumber bahan baku, terutama jika berat bahan baku lebih besar daripada produk yang dihasilkan. Dari sisi proses produksi, pembuatan asam fenil asetat tidak termasuk dalam kategori *weight loss* maupun *weight gain* secara signifikan. Namun, ada beberapa hal penting yang perlu dipertimbangkan terkait bahan baku yang digunakan. Benzil sianida sebagai bahan baku utama harus diimpor dari India, sedangkan asam sulfat diperoleh dari PT Petrokimia Gresik di Jawa Timur. Benzil sianida bersifat toksik dan berbahaya sehingga membutuhkan penanganan khusus saat transportasi, apalagi harus dikirim dari luar negeri dengan jarak yang cukup jauh. Oleh karena itu, lokasi pabrik asam fenil asetat sebaiknya berada di wilayah yang dekat dengan pelabuhan untuk memudahkan penerimaan benzil sianida impor, sekaligus tidak terlalu jauh dari PT Petrokimia Gresik sebagai pemasok asam sulfat. Hal ini bertujuan untuk mengurangi biaya transportasi dan meminimalkan risiko kecelakaan selama pengangkutan bahan berbahaya.

Melalui pertimbangan tersebut terdapat 2 lokasi yang dipilih yaitu di Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik, Jawa Timur dan kawasan industri Karawang, Cikampek. Untuk bahan baku asam sulfat wilayah Gresik akan dipasok oleh PT Petrokimia Gresik dan benzil sianida impor dari Sheetal Chemicals, India. Sedangkan di wilayah Karawang bahan baku asam sulfat akan dipasok PT Indo Bharat Rayon dan benzil sianida diimpor dari Sheetal Chemicals, India. Berikut ini merupakan parameter yang dipertimbangkan dalam pemilihan lokasi pabrik.

Tabel 1.4 Perbandingan Pemilihan Lokasi Pabrik (BPS, 2024)

Parameter	Gresik, Jawa Timur	Karawang, Cikampek
Transportasi	Pendirian pabrik di Gresik, Jawa Timur dekat dengan sumber bahan baku, dekat juga dengan pelabuhan dan jetty milik pabrik lain sehingga memudahkan proses distribusi impor bahan baku dan pemasaran produk.	Pendirian pabrik di Kawasan Industri Karawang dekat dengan sumber bahan baku, dekat dengan jalan Tol, dan untuk fasilitas jalan kelas satu, sehingga memudahkan mobilitas dalam proses pendistribusian produk melalui jalur darat. Namun, lokasi tersebut jauh dari Pelabuhan sehingga membutuhkan biaya lebih untuk mendistribusikan produk dalam jumlah besar.
Utilitas	Utilitas yang diperlukan pabrik yaitu listrik yang diperoleh dari PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) UPT Gresik, bahan bakar diperoleh dari PT Pertamina Patra Niaga Gresik dan PT Perusahaan Gas Negara Gresik, serta air diperoleh dari Sungai Bengawan Solo ($\pm$ 10 km dari lokasi pabrik)	Di Kawasan Industri Karawang, pabrik akan dipasok listrik dari Pembangkit Listrik Tatajabar dan PLN yang lokasinya tidak jauh dari Kawasan tersebut. Untuk kebutuhan air diperoleh dari Sungai Citarum dan Kawasan Industri Karawang.
Sumber Daya Manusia	Data dari Badan Pusat Statistik Kabupaten Gresik menyebutkan jumlah penduduknya pada tahun 2024 sebesar 1.309.160 jiwa dan 66,4% dari	Data dari Badan Pusat Statistik Kabupaten Karawang menyebutkan jumlah penduduknya sebesar 2.370.488 jiwa dan 68,36% dari jumlah

	jumlah tersebut merupakan usia produktif sebesar 869.240 jiwa. Untuk standar UMK tahun 2025, daerah tersebut sebesar Rp 4.874.133,- (Kemnaker, 2025).	tersebut merupakan usia produktif sebesar 1.620.558 jiwa. Untuk standar UMR tahun 2025 daerah tersebut sebesar Rp 5.257.834,-. (Kemnaker, 2025).
Pemasaran Produk	Dekat dengan pasar atau pabrik yang bahan bakunya membutuhkan asam fenilasetat seperti PT Dankos Farma di Kawasan Industri Pulogadung, Jakarta Timur dan perusahaan farmasi lainnya di wilayah Jawa Timur	Dekat dengan pasar atau pabrik yang bahan bakunya membutuhkan asam fenilasetat seperti PT Dankos Farma di Kawasan Industri Pulogadung, Jakarta Timur
Bahan Baku	Benzil sianida diimpor dari India melalui Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya (± 25 km dari Gresik). Asam sulfat dipasok langsung dari PT Petrokimia Gresik yang berada di lokasi yang sama sehingga biaya transportasi bahan baku lebih rendah dan efisien.	Benzil sianida diimpor dari India melalui Pelabuhan Tanjung Priok (± 80 km dari Karawang). Asam sulfat dipasok dari PT Indo Bharat Rayon di Purwakarta (± 27 km dari Karawang). Namun jarak Karawang ke pelabuhan cukup jauh sehingga biaya transportasi benzil sianida impor lebih tinggi.

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

Tabel 1. 5 Parameter Pemilihan Lokasi Pabrik (Kasmir, 2014)

Parameter	Gresik	Karawang
Transportasi	3	2
Utilitas	3	3
Sumber Daya Manusia	2	3
Pemasaran Produk	3	3
Bahan Baku	3	1
Total	14	12

*Keterangan : 3 = sangat Prioritas, 2 = prioritas, 1 = tidak prioritas

Berdasarkan hasil analisa di atas, maka diambil keputusan pemilihan lokasi pabrik terletak di Gresik, Jawa Timur. Pemilihan lokasi tersebut dikarenakan dilihat dari segi penyediaan bahan baku, asam sulfat dapat dipasok langsung oleh PT Petrokimia Gresik yang berada di lokasi yang sama dengan kapasitas produksi yang memadai. Untuk benzil sianida yang diimpor dari India, Gresik memiliki akses strategis ke Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya yang berjarak ± 25 km sehingga biaya transportasi bahan baku impor lebih efisien. Berdasarkan Peraturan Daerah Kabupaten Gresik No. 8 Tahun 2011 tentang RTRW Kabupaten Gresik 2010–2030, wilayah Kecamatan Manyar dan sekitarnya diarahkan sebagai kawasan industri di Gresik Daratan, sehingga pendirian pabrik asam fenil asetat di lokasi ini telah sesuai dengan peruntukan tata ruang yang berlaku. Untuk pemasaran produk, asam fenilasetat nantinya dijual untuk memenuhi kebutuhan perusahaan-perusahaan farmasi di Indonesia seperti PT Dankos Farma di Jakarta dan perusahaan farmasi lainnya di wilayah Jawa Timur seperti Surabaya dan Sidoarjo. Transportasi produk dapat dilakukan melalui jalur darat maupun laut melalui Pelabuhan Tanjung Perak yang posisinya strategis untuk distribusi ke seluruh Indonesia maupun ekspor ke luar negeri. Untuk Upah Minimum Kabupaten (UMK) Gresik tahun 2025 sebesar Rp 4.874.133,- (Kemnaker, 2025) memang tergolong tinggi, namun hal ini sebanding dengan ketersediaan tenaga kerja usia produktif yang mencapai 869.240 jiwa atau 66,4% dari total penduduk Gresik. Selain itu, biaya transportasi bahan baku yang lebih rendah karena kedekatan dengan PT Petrokimia Gresik dan akses pelabuhan yang mudah dapat menutupi biaya upah yang tinggi tersebut. Dari segi utilitas, Gresik merupakan kawasan industri yang

sudah berkembang dengan infrastruktur yang memadai. Pabrik akan dipasok listrik dari Pembangkit Listrik Negara (PLN) dan kebutuhan air dapat diperoleh dari PDAM Gresik serta sumber air industri lainnya yang tersedia di kawasan industri Gresik. Keberadaan berbagai industri besar seperti PT Semen Indonesia dan PT Petrokimia Gresik menunjukkan bahwa infrastruktur utilitas di daerah ini sudah sangat mendukung untuk operasional pabrik kimia.



Gambar 1.2 Lokasi Pabrik (Google Earth, 2026)

1.4 Tinjauan Proses

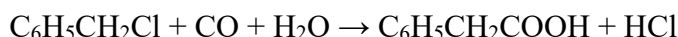
Produksi asam fenil asetat dapat dilakukan melalui beberapa metode proses berbeda, dipengaruhi oleh jenis bahan baku serta kondisi operasi yang diterapkan. Setiap metode memiliki karakteristik tersendiri, meliputi rendemen reaksi, kompleksitas proses, kebutuhan energi, dan dampak lingkungan. Oleh karena itu, penetapan metode produksi asam fenil asetat perlu mempertimbangkan ketersediaan bahan baku, efisiensi proses, dan kelayakan penerapannya pada skala industri.

1.4.1 Macam - Macam Proses Pembuatan Asam Fenil Asetat

1.4.1.1 Proses Karbonilasi

Proses karbonilasi merupakan salah satu metode sintesis asam fenil asetat yang menggunakan benzil klorida sebagai bahan baku utama, dengan karbon monoksida (CO) sebagai sumber gugus karbonil dan katalis palladium berbasis fosfin, umumnya Pd (PPh₃)₂Cl₂. Reaksi dilakukan di dalam reaktor bertekanan (pressure reactor atau autoclave) karena melibatkan gas CO, dengan kondisi operasi suhu berkisar 60–120 °C dan tekanan 1–20 atm, tergantung pada sistem katalis dan pelarut yang digunakan. Konsentrasi benzil klorida dalam fase reaksi umumnya dijaga pada kisaran 5-20% (b/b) untuk menghindari reaksi samping serta menjaga stabilitas katalis, sementara CO dialirkan secara kontinu atau dipertahankan pada tekanan tetap. Proses ini berlangsung melalui mekanisme oksidatif adisi benzil klorida ke Pd (0), diikuti oleh insersi CO membentuk intermediate asil-palladium,

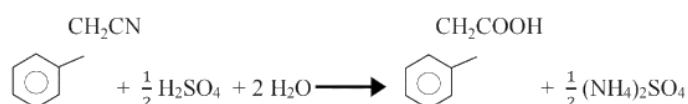
kemudian eliminasi reduktif dan tahap hidrolisis menghasilkan asam fenil asetat. Reaksi utama dapat dilihat sebagai berikut:



Metode karbonilasi ini dikenal memiliki selektivitas tinggi dan konversi mencapai 75%, namun penerapannya memerlukan perhatian khusus terhadap keselamatan operasi akibat penggunaan gas CO bertekanan serta biaya katalis logam mulia (Cavinato *et al.*, 1991).

1.4.1.2 Proses Hidrolisis

Metode hidrolisis merupakan proses sintesis asam fenil asetat yang menggunakan benzil sianida ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CN}$) sebagai bahan baku utama, yang direaksikan dengan air di bawah kondisi asam kuat (misalnya H_2SO_4 atau HCl) atau basa kuat (NaOH atau KOH). Reaksi ini umumnya dilakukan di dalam reaktor berpengaduk (CSTR atau batch reactor) pada tekanan atmosfer, dengan temperatur operasi berkisar 80-100 °C untuk mempercepat laju hidrolisis nitril. Konsentrasi benzil sianida dalam campuran reaksi biasanya dijaga pada kisaran 5–15% (b/b) untuk mengontrol kenaikan temperatur akibat reaksi yang bersifat eksotermik. Secara mekanistik, gugus nitril ($-\text{CN}$) mengalami hidrolisis bertahap, dimulai dari pembentukan amida antara (fenilasetamida), yang selanjutnya terhidrolisis menjadi asam fenil asetat, sementara ion sianida terkonversi sepenuhnya menjadi gugus karboksilat. Reaksi keseluruhan dapat dituliskan sebagai:

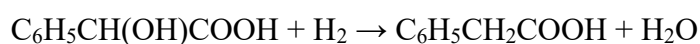


Pada kondisi basa, asam terbentuk setelah tahap pengasaman. Metode ini sederhana dan memiliki konversi tinggi 90%, namun kelemahannya adalah penggunaan benzil sianida yang bersifat toksik serta kebutuhan pengolahan limbah reaksi yang mengandung amonia atau garam amonium, sehingga aspek keselamatan dan lingkungan menjadi perhatian utama dalam penerapan skala (Organic Syntheses, 2014).

1.4.1.3 Proses Hidrogenasi

Metode hidrogenasi merupakan proses sintesis asam fenil asetat yang menggunakan asam mandelat ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$) sebagai bahan baku, yang direaksikan dengan gas hidrogen (H_2) di hadapan katalis logam, umumnya palladium (Pd/C , Pd/BaSO_4) atau nikel. Proses ini dilakukan di dalam reaktor hidrogenasi bertekanan (fixed-bed reactor atau stirred autoclave) karena melibatkan gas H_2 , dengan kondisi operasi temperatur relatif tinggi, biasanya 120–200 °C, dan tekanan hidrogen berkisar 10-50 atm, tergantung jenis katalis dan

target konversi. Konsentrasi asam mandelat dalam fase cair umumnya dijaga pada kisaran 5–20% (b/b) untuk memastikan kontak efektif antara fase gas–cair–padat dan mencegah deaktivasi katalis. Secara reaksi, gugus α -hidroksi ($-\text{CHOH}$) pada asam mandelat mengalami hidrogenolisis, di mana ikatan $\text{C}-\text{O}$ direduksi menjadi gugus metilena ($-\text{CH}_2-$), sehingga terbentuk asam fenil asetat sebagai produk utama. Reaksi keseluruhan dapat dituliskan sebagai:



Metode hidrogenasi ini mampu memberikan yield tinggi (hingga > 85–90%) dan selektivitas baik, namun kelemahannya terletak pada kebutuhan hidrogen bertekanan tinggi, konsumsi energi yang relatif besar, serta ketergantungan pada katalis logam yang sensitif terhadap pengotor, sehingga aspek keselamatan operasi dan biaya katalis menjadi pertimbangan penting dalam penerapan industri (Ronchin *et al.*, 1997).

Tabel 1.6 Perbandingan Proses Pembuatan Asam fenil Asetat (Ronchin *et al.*, 1997)

Parameter	Jenis Proses		
	Karbonilasi Benzil Klorida	Hidrolisis Benzil Sianida	Hidrogenasi Mandelic Acid
Bahan Baku Utama	Benzil klorida ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{Cl}$), CO	Benzil sianida ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CN}$)	Asam mandelat ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$), H_2
Reaksi Utama	Benzil klorida + CO + $\text{H}_2\text{O} \rightarrow$ Asam fenil asetat + HCl	Benzil sianida + 2 H_2O $\rightarrow$ Asam fenil asetat + NH_3	Mandelic acid + $\text{H}_2 \rightarrow$ Asam fenil asetat + H_2O
Katalis	Pd fosfin ($\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$) atau kompleks Pd–ligan	Tidak memerlukan katalis logam	Katalis logam (Pd/C, Pd/ BaSO_4)
Waktu Reaksi	3 jam	3 jam	6 jam
Kondisi Operasi	Tekanan CO (1–20 atm), suhu 60–120 $^\circ\text{C}$, media dua fase	Suhu 80–100 $^\circ\text{C}$, atmosfer (reaksi refluks)	Tekanan H_2 (10–50 atm), suhu 120–200 $^\circ\text{C}$
Reaktor	Reaktor tekan/autoclave untuk gas CO	Reaktor berpengaduk/batch dengan refluks	Reaktor hidrogenasi bertekanan

Sistem Fase	Dua fase (organik–air) meningkatkan transfer massa	Fase cair (reaksi larutan)	Fase gas–cair–padat
Yield Tipe	75%	90%	90%
Keunggulan	Selektivitas baik, dan dapat dioptimasi dua fase	Sederhana, tidak perlu katalis logam	Yield tinggi, kondisi reaksi mild, ramah lingkungan, produk murni.
Kelemahan	Gas CO bertekanan berbahaya; katalis mahal	Perlu pengolahan amonia/ion CN^- ; toksisitas bahan baku	Memerlukan H_2 bertekanan tinggi; katalis sensitif

1.4.2 Alasan Pemilihan Proses

Pemilihan metode hidrolisis benzil sianida sebagai proses produksi asam fenil asetat didasarkan pada beberapa pertimbangan teknis dan operasional sebagai berikut:

a. Aspek kondisi operasi

Metode hidrolisis dapat dijalankan pada tekanan atmosfer dengan temperatur relatif moderat, yaitu sekitar 80 - 100 °C. Kondisi ini lebih aman dan lebih mudah dikendalikan dibandingkan metode karbonilasi dan hidrogenasi yang memerlukan gas bertekanan tinggi seperti karbon monoksida dan hidrogen.

b. Aspek kesederhanaan peralatan

Proses hidrolisis hanya memerlukan reaktor berpengaduk konvensional tanpa kebutuhan reaktor bertekanan tinggi. Hal ini menyederhanakan desain peralatan, menurunkan biaya investasi, serta mengurangi kompleksitas sistem keselamatan.

c. Aspek teknologi

Hidrolisis benzil sianida merupakan metode sintesis yang telah lama digunakan dan banyak dilaporkan dalam literatur internasional sebagai rute standar pembuatan asam fenil asetat. Mekanisme reaksi yang sederhana dan telah teruji memudahkan pengendalian proses serta perancangan neraca massa dan energi.

d. Aspek hasil dan proses

Metode ini mampu menghasilkan konversi dan yield yang tinggi secara konsisten, sehingga cocok diterapkan untuk operasi industri skala menengah hingga besar dengan stabilitas proses yang baik.

e. Aspek keselamatan dan lingkungan

Meskipun benzil sianida bersifat toksik, risiko operasional dapat dikendalikan melalui penggunaan sistem tertutup, prosedur penanganan bahan kimia yang ketat, serta pengolahan limbah yang memadai. Secara keseluruhan, tingkat risiko ini masih lebih mudah dikelola dibandingkan bahaya penggunaan gas CO atau H₂ bertekanan tinggi.