

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan industri kimia secara global terus mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kebutuhan dan kemajuan zaman, termasuk di Indonesia. Saat ini, Indonesia tengah berupaya untuk memperkuat kemandirian industri dalam negeri dan secara bertahap mengurangi ketergantungan terhadap produk-produk impor dari negara lain. Perkembangan industri kimia nasional diharapkan dapat berkontribusi dalam menekan angka impor serta membuka peluang kerja yang luas bagi masyarakat, sehingga turut membantu menurunkan tingkat pengangguran. Namun demikian, minimnya jumlah industri kimia di dalam negeri menyebabkan sebagian besar kebutuhan bahan kimia harus dipenuhi melalui impor.

Salah satu bahan kimia yang hingga saat ini masih diimpor adalah Isopropanol atau yang juga dikenal dengan berbagai nama lain seperti isopropil alkohol, *2-propanol*, *dimethylcarbinol*, dan *sec-propyl alcohol*. Isopropanol memiliki rumus kimia C_3H_8O atau C_3H_7OH dan merupakan jenis alkohol sekunder berbentuk cairan tidak berwarna, mudah menguap, serta mudah terbakar. Isopropanol memiliki berbagai aplikasi penting, baik sebagai produk akhir maupun sebagai bahan antara (*intermediate*). Sebagai produk akhir, isopropanol digunakan sebagai pelarut (*solvent*), bahan tambahan dalam obat-obatan, antiseptik, dan disinfektan. Sementara itu, sebagai bahan *intermediate*, isopropanol dimanfaatkan dalam produksi senyawa lain seperti aseton, metil isobutil keton, metil isobutil karbinol, isopropilamin, dan isopropil asetat (Kirk & Othmer, 2004).

Secara komersial, isopropanol dapat diproduksi melalui tiga metode utama, yaitu *indirect hydration* (hidrasi tidak langsung), *direct hydration* (hidrasi langsung), dan *hydrogenation of acetone* (hidrogenasi aseton). Produksi isopropanol pertama kali dilakukan pada tahun 1920 oleh Standard Oil (Exxon) Company di Bayway, New Jersey, menggunakan metode *indirect hydration*, yang juga dikenal sebagai proses asam sulfat. Metode ini sempat menjadi satu-satunya proses yang digunakan secara global. Namun, proses ini memiliki kelemahan seperti tingkat korosi yang tinggi, konsumsi energi yang besar, dan dampak pencemaran udara. Oleh karena itu, pada tahun 1951, perusahaan ICI memperkenalkan proses komersial *direct hydration* sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan. Seiring waktu, dikembangkan pula metode lain yaitu hidrogenasi aseton sebagai alternatif sintesis isopropanol (Kirk & Othmer, 2004).

Hingga saat ini, kebutuhan isopropanol di Indonesia masih dipenuhi melalui impor. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, impor isopropanol pada tahun 2020 mencapai 38.370,116 ton, tahun 2021 sebesar 36.282,620 ton, tahun 2022 sebanyak 37.162,452 ton, tahun 2023 naik menjadi 38.730,865 ton, dan pada tahun 2024 tercatat sebesar 42.975,436 ton. Dari data tersebut terlihat bahwa volume impor mengalami tren peningkatan dari tahun 2020 hingga 2024, meskipun pada tahun 2021 terdapat sedikit penurunan. Namun demikian, angka impor masih tergolong tinggi yang menunjukkan bahwa hingga kini Indonesia belum memiliki fasilitas produksi isopropanol dalam skala industri. Oleh karena itu, untuk mendukung kemandirian industri nasional dan mengurangi ketergantungan impor, pada tugas akhir ini akan dilakukan prarancangan pabrik isopropanol sebagai langkah awal dalam pemenuhan kebutuhan domestik secara mandiri.

1.2. Kapasitas Rancangan

Dalam menentukan kapasitas produksi pabrik, perlu dilakukan beberapa aspek yang harus diperhatikan dan dipertimbangkan yaitu perkiraan kebutuhan isopropanol di Indonesia, ketersediaan bahan baku, dan kapasitas pabrik yang telah beroperasi. Rancangan besarnya kapasitas pabrik harus diupayakan berada di atas kapasitas minimum atau sama dengan kapasitas pabrik yang sudah ada.

1.2.1. Perkiraan Kebutuhan Isopropanol di Indonesia

Memperkirakan kebutuhan isopropanol dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kebutuhan pasar terhadap produk tersebut. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS), jumlah impor dan ekspor isopropanol dalam 10 tahun terakhir yang dapat dilihat pada tabel berikut.

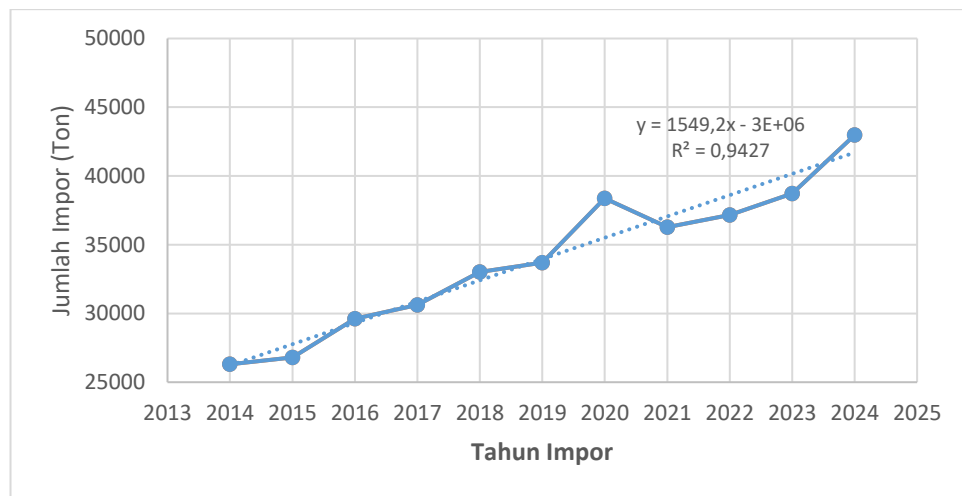
Tabel 1. 1 Data Statistik Impor dan Ekspor Isopropanol

Tahun	Impor (Ton/Tahun)	Ekspor (Ton/Tahun)	Prediksi Impor (%)	Prediksi Ekspor (%)
2014	26.307,24	19	-	-
2015	26.798,79	0,24	1,868	-98,694
2016	29.610,43	0,08	10,492	-69,008
2017	30.617,75	0,68	3,402	802,667
2018	33.010,50	40	7,815	5822,009
2019	33.700,17	20	2,089	-50,554
2020	38.370,12	144	13,857	627,704

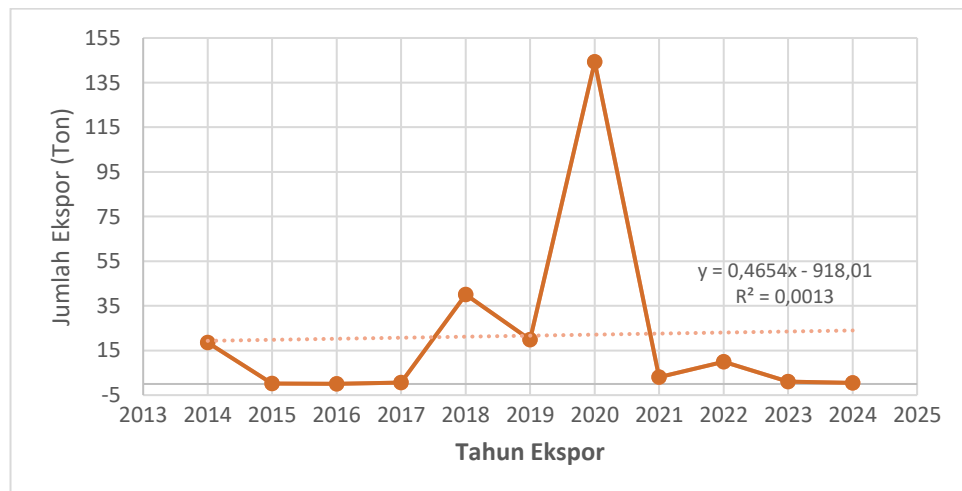
2021	36.282,62	3	-5,440	-97,894
2022	37.162,45	10	2,425	227,189
2023	38.730,86	1	4,220	-89,467
2024	42.975,44	0,43	10,959	-59,408
Total (%P)			51,688	7014,544
i (pertumbuhan rata-rata per tahun)			4,70	637,686

Sumber: (Badan Pusat Statistik, 2025)

Dari data impor pada Tabel 1.1 tersebut, maka didapatkan grafik sebagai berikut.



Gambar 1. 1 Grafik Impor Isopropanol 2014 – 2024



Gambar 1. 2 Grafik Ekspor Isopropanol 2014-2024

Perkiraan konsumsi impor dan ekspor pada tahun 2029 dihitung dengan menggunakan metode rata-rata pertumbuhan dengan rumus sebagai berikut:

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

Keterangan:

M = jumlah kebutuhan tahun 2029 (ton/tahun)

P = jumlah kebutuhan tahun 2024 (ton/tahun)

i = pertumbuhan rata-rata per tahun

n = selisih waktu perkiraan

- Perhitungan perkiraan nilai impor 5 tahun kedepan:

$$\begin{aligned}M_1 &= P(1+i)^n \\&= 42.975,44 (1 + 4,70\%)^5 \\&= 54.066,78 \text{ ton/tahun}\end{aligned}$$

- Perhitungan perkiraan nilai ekspor 5 tahun kedepan:

$$\begin{aligned}M_2 &= P(1+i)^n \\&= 0,43 (1 + 637,68\%)^5 \\&= 9.284,23 \text{ ton/tahun}\end{aligned}$$

Sehingga, perkiraan peluang kapasitas pabrik berdasarkan data impor dan ekspor pada tahun 2029 yaitu dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}M_3 &= M_1 + M_2 \\&= 54.066,78 + 9.284,23 \text{ (ton/tahun)} \\&= 63.351 \approx 64.000 \text{ ton/tahun}\end{aligned}$$

Dari perhitungan perkiraan peluang kapasitas pabrik maka didapatkan kapasitas pabrik isopropanol pada tahun 2029 direncanakan sebesar 64.000 ton/tahun. Dengan didirikannya pabrik isopropanol di dalam negeri ini diharapkan dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri serta menambah devisa negara dengan bersaing di pasar dunia dan menciptakan lapangan pekerjaan baru.

1.2.2. Ketersediaan Bahan Baku

Dalam memproduksi isopropanol, dibutuhkan aseton dan gas hidrogen sebagai bahan baku utama. Kebutuhan bahan baku aseton diperoleh dengan impor dari perusahaan INEOS Phenol yang berada di Singapura karena Indonesia belum terdapat pabrik produksi aseton. Kapasitas produksi aseton yang berada di Singapura sebesar 185.000 ton/tahun (INEOS Phenol, 2025). Sementara itu, gas hidrogen didapatkan dari dalam negeri, yaitu dari PT Air Liquide Indonesia yang berada di Cilegon dengan kapasitas produksi mencapai 21.000.000 m³ (Kemenperin, 2025). Sedangkan untuk katalis Ni-Cu/SiO₂, pengadaan dilakukan

melalui impor dari beberapa produsen internasional seperti Hangzhou Ruike Chemical (Tiongkok) dan Vineeth Chemical (India).

1.2.3. Kapasitas Pabrik Isopropanol yang Beroperasi

Hingga saat ini, Indonesia belum memiliki pabrik yang memproduksi isopropanol, sehingga seluruh kebutuhan dalam negeri masih bergantung pada impor. Oleh karena itu, data produksi isopropanol dari pabrik di luar negeri dapat dijadikan acuan dalam menentukan kapasitas perancangan pabrik. Beberapa pabrik yang telah memproduksi isopropanol secara komersial dapat dilihat pada Tabel 1.2 berikut.

Tabel 1. 2 Daftar Kapasitas Pabrik Isopropanol yang Beroperasi di Dunia

Nama Pabrik	Negara	Kapasitas (Ton/Tahun)
LG Chem	Korea Selatan	150.000
Tokuyama Corp.	Jepang	70.000
Tasco Chemical Corp.	Taiwan	30.000
LCY Chemical Corp.	Taiwan	100.000
Mitsui Chemicals	Jerman	60.000
Shell (Singapore Plant)	Singapore	75.000
Mitshubishi Chemical Co	Jepang	60.000

Sumber: (Samiraschem, 2025)

Berdasarkan proyeksi kebutuhan isopropanol pada tahun 2029, ketersediaan bahan baku di dalam negeri, serta mempertimbangkan kapasitas produksi pabrik isopropanol yang telah beroperasi secara global, maka kapasitas prarancangan pabrik isopropanol ini ditetapkan sebesar 64.000 ton/tahun. Prarancangan ini bertujuan untuk memenuhi permintaan dalam negeri, sebagian dialokasikan untuk pasar ekspor, serta mendukung penguatan perekonomian nasional.

1.3. Pemilihan Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik menjadi salah satu aspek utama dalam perancangan sebuah pabrik, karena secara langsung akan memengaruhi operasional dan keberlanjutan pabrik di masa mendatang. Pemilihan lokasi yang tepat akan menjadi keuntungan besar dalam jangka waktu yang panjang. Berikut beberapa kriteria utama yang menjadi pertimbangan dalam pemilihan lokasi pabrik.

1. Ketersediaan Bahan Baku

Lokasi pabrik sebaiknya berada dekat dengan sumber bahan baku maupun pelabuhan untuk memudahkan proses pengadaan serta mengurangi biaya distribusi bahan baku.

2. Akses Pasar (Pemasaran)

Aspek pemasaran juga menjadi pertimbangan penting dalam menentukan lokasi pabrik, khususnya terkait kedekatan dengan wilayah pasar guna menekan biaya distribusi produk.

3. Transportasi

Ketersediaan fasilitas transportasi di wilayah yang dipilih untuk pendirian pabrik memiliki peranan penting dalam mendukung efisiensi operasional dan ekonomi pabrik. Hal ini berkaitan erat dengan kelancaran proses pengiriman bahan baku maupun distribusi produk akhir.

4. Ketersediaan Infrastruktur

Sebagai wilayah yang telah dirancang sebagai kawasan industri berskala besar, lokasi tersebut umumnya telah dilengkapi dengan infrastruktur yang memadai, termasuk pasokan air, listrik, dan sarana pendukung lainnya.

5. Tenaga Kerja

Sumber daya manusia yang akan digunakan terdiri dari tenaga ahli di bidang masing-masing serta tenaga kerja lokal yang berada di sekitar lokasi pabrik, guna mendukung kegiatan operasional secara efektif dan efisien.

6. Kondisi Tanah

Faktor harga tanah menjadi pertimbangan penting karena akan berdampak langsung terhadap total biaya investasi. Lokasi pabrik yang berada di kawasan industri umumnya memiliki lahan yang luas dengan kontur tanah yang datar, sehingga memberikan keuntungan tersendiri dalam proses pembangunan dan pengembangan fasilitas industri.

7. Kebijakan Pemerintah

Wilayah yang telah ditetapkan sebagai kawasan industri umumnya telah memiliki regulasi khusus terkait pendirian pabrik. Pemerintah, dalam hal ini bertindak sebagai fasilitator, memberikan berbagai kemudahan seperti proses perizinan, insentif pajak, dan dukungan administratif lainnya untuk mendorong pertumbuhan industri di kawasan tersebut.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, lokasi pendirian pabrik isopropanol direncanakan didirikan di kawasan industri Cilegon, tepatnya di Kel. Kotasari, Kec. Gerogol, Kota Cilegon, Banten yang dapat dilihat pada Gambar 1.3 berikut.



Gambar 1. 3 Pemilihan Lokasi Pembangunan Pabrik

Pemilihan lokasi tersebut didasarkan pada beberapa pertimbangan berikut.

1. Ketersediaan Bahan Baku

Ketersediaan bahan baku merupakan aspek krusial dalam menentukan lokasi pabrik. Bahan baku utama dalam proses produksi isopropanol yaitu aseton dan gas hidrogen (H_2) serta katalis Ni-Cu/SiO₂. Aseton diperoleh melalui impor dari INEOS Phenol (Singapura), gas hidrogen diperoleh dari PT Air Liquide Indonesia – Cilegon, dan katalis Ni-Cu/SiO₂ diperoleh melalui impor dari produsen internasional yaitu Hangzhou Ruike Chemical (Tiongkok) dan Vineeth Chemical (India).

2. Akses Pasar (Pemasaran)

Targer utama pasar difokuskan untuk kebutuhan dalam negeri dengan pemilihan lokasi yang dekat dengan konsumen agar dapat menekan biaya transportasi untuk distribusi, harga jual produk lebih kompetitif, dan pendapatan dari penjualan dapat dioptimalkan. Pemilihan lokasi pembangunan pabrik berada di kawasan industri Cilegon dapat mempermudah faktor tersebut karena konsumen utama dari isopropanol banyak berada di wilayah Jakarta, Banten, dan Jawa Barat. Industri yang menjadi konsumen isopropanol dapat dilihat pada Tabel 1.3 berikut.

Tabel 1. 3 Industri yang Membutuhkan Isopropanol

Industri	Lokasi	Produk
PT Asahimas Chemical	Cilegon	Produk kimia
PT Indonesia Polymer Compound	Bekasi	Plastik & polimer
PT Inkote Indonesia	Bekasi	Tinta cetak & coating
PT Nipsea Paint & Chemical	Serang	Cat & pelapis
PT Paragon Technology & Innovation	Tangerang	Kosmetik
PT Indonesia Nikka Chemicals	Karawang	Tekstil

3. Transportasi

Transportasi menjadi salah satu bagian penting dalam kelancaran pasokan bahan baku dan distribusi produk. Pemilihan lokasi pabrik di kawasan industri Cilegon didasarkan pada kemudahan akses transportasi darat dan laut, mengingat Cilegon terletak pada jalur strategis Merak–Jakarta yang menghubungkan Pulau Jawa dan Sumatera. Infrastruktur transportasi seperti jalan raya dan jalan tol di wilayah ini sangat mendukung, memungkinkan pengangkutan bahan baku dan distribusi produk berjalan efisien. Kedekatan lokasi pabrik dengan Pelabuhan Merak memberikan keuntungan dalam hal pengiriman barang, ditambah keberadaan Bandara Internasional Soekarno-Hatta yang memperlancar distribusi hasil produksi.

4. Ketersediaan Infrastruktur (Utilitas)

Pabrik membutuhkan suplai air, energi, dan listrik yang andal. Sumber air untuk kebutuhan proses dan utilitas berasal dari Waduk Nadra. Selain itu, kebutuhan listrik dipenuhi dari jaringan listrik PLN UPT Cilegon yang dekat dengan lokasi pabrik.

5. Ketersediaan Lahan

Lahan di Kawasan Industri Cilegon cukup strategis melihat lokasinya yang dekat dengan Pelabuhan Merak sehingga memudahkan untuk impor bahan baku aseton dan katalis, serta sangat berdekatan dengan PT Air Liquide Indonesia. Selain itu, lokasinya juga dengan dengan target pemasaran. Harga lahan di Cilegon relatif tinggi, tapi hal tersebut sebanding dengan potensi nilai investasinya karena wilayah ini merupakan kawasan industri yang prospektif dan terus berkembang.

6. Ketersediaan Tenaga Kerja

Sebagai kawasan industri yang berkembang, Cilegon memiliki kepadatan penduduk yang tinggi dan dikelilingi oleh berbagai pabrik, sehingga memudahkan

dalam memperoleh tenaga kerja. Letaknya yang berada di Provinsi Banten, Pulau Jawa, juga menjadi nilai tambah karena berdekatan dengan berbagai institusi pendidikan terkemuka dari tingkat menengah hingga perguruan tinggi.

7. Karakteristik Lokasi

Lokasi pabrik dipilih berdasarkan kondisi iklim yang mendukung, yakni tidak rawan banjir. Pemerintah telah menetapkan Cilegon dan sekitarnya sebagai kawasan industri yang akan terus dikembangkan. Suhu udara di wilayah ini berkisar antara 22–30°C, yang cocok untuk kegiatan operasional pabrik. Risiko bencana alam seperti gempa dan tanah longsor tergolong rendah, sehingga lokasi ini dinilai layak untuk pembangunan pabrik isopropanol.

8. Perizinan

Pabrik direncanakan dibangun di wilayah yang telah ditetapkan sebagai kawasan industri, sehingga proses perizinan dapat dilakukan dengan lebih mudah. Lokasi pabrik juga dipastikan jauh dari permukiman dan tidak berada di atas lahan pertanian produktif guna menghindari dampak negatif terhadap masyarakat dan lingkungan. Selain itu, lokasi tersebut memungkinkan adanya perluasan area pabrik di masa depan sebagai antisipasi terhadap kebutuhan pengembangan.

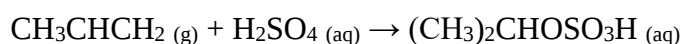
1.4. Tinjauan Proses

1.4.1. Macam-macam Proses Pembuatan Isopropanol

1. Proses Hidrasi Tidak Langsung (*Indirect Hydration*)

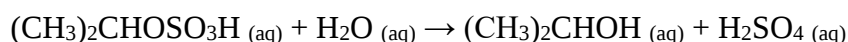
Berdasarkan US Patent No. US2609400A, proses hidrasi tidak langsung terdiri atas dua tahapan reaksi. Proses ini melibatkan reaksi antara propilen (CH_3CHCH_2) dan asam sulfat (H_2SO_4) untuk membentuk isopropil hidrogen sulfat ($(\text{CH}_3)_2\text{CHOSO}_3\text{H}$). Selanjutnya, senyawa tersebut dihidrolisis menggunakan air untuk menghasilkan isopropanol (Amick & Linden, 1952). Tahapan reaksi tersebut sebagai berikut:

- Tahap 1: Proses esterifikasi antara propilen dan asam sulfat menghasilkan isopropil hidrogen sulfat:



Pada tahap ini, esterifikasi berlangsung dengan propilen (maksimum 60 wt%) dan asam sulfat (lebih dari 80 wt%) pada tekanan 23 atm dan suhu sekitar 65°C menggunakan absorber.

- Tahap 2: Proses hidrasi isopropil hidrogen sulfat dengan air menghasilkan isopropil alkohol dan asam sulfat:



Pada tahap ini, isopropil hidrogen sulfat dikonversi menjadi isopropanol dalam kolom stripper pada suhu sekitar 133,85°C. Konversi propilen mencapai lebih dari 93% dengan selektivitas isopropanol sebesar 98%. Hasil akhir berupa isopropanol memiliki kemurnian antara 87% hingga 97% (Kirk & Othmer, 2004).

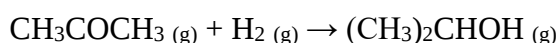
2. Proses Hidrasi Langsung (*Direct Hydration*)

Dalam metode ini, gas propilen direaksikan langsung dengan uap air pada suhu 150°C dan tekanan 100 atm untuk menghasilkan isopropanol. Reaksi berlangsung di dalam *trickle bed reactor* (TBR), di mana reaktan dimasukkan dari bagian atas dan dialirkan ke bawah melalui katalis asam sulfat. Efisiensi konversi propilen dalam proses ini mencapai $\geq 75\%$, dengan selektivitas terhadap isopropanol berkisar antara 92–93%, dan kemurnian propilen yang dibutuhkan sebesar 92%. Reaksi ini juga menghasilkan produk samping berupa *diisopropyl ether* (DIPE) sekitar 5% (Kirk & Othmer, 2004). Reaksi utama dan reaksi samping yang terjadi dapat ditulis sebagai berikut:

- Reaksi utama: $\text{CH}_3\text{CHCH}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}_{(\text{aq})} \rightarrow (\text{CH}_3)_2\text{CHOH}_{(\text{aq})}$
- Reaksi samping: $(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}_{(\text{aq})} + \text{CH}_3\text{CHCH}_2(\text{g}) \rightarrow \text{C}_3\text{H}_7\text{OC}_3\text{H}_7(\text{g})$

3. Proses Hidrogenasi Aseton

Berdasarkan CN Patent No. CN103449967B, proses hidrogenasi aseton yaitu mereaksikan aseton dengan gas hidrogen (H_2) untuk membentuk isopropanol. Reaksi dilakukan dalam *fixed bed reactor* pada suhu 180°C dan tekanan 7,89 atm. Sebelum memasuki reaktor, aseton diuapkan menggunakan vaporizer, lalu dialirkan bersama hidrogen ke dalam reaktor dari arah bawah dan keluar melalui bagian atas (Xuehong et al., 2015). Rasio molar hidrogen terhadap aseton dalam umpan adalah 1,5:1. Reaksi ini menunjukkan efisiensi konversi sebesar 87,6% mol/mol dengan selektivitas 100% terhadap isopropanol menggunakan katalis Ni-Cu/SiO₂ (Zhou & Wang, 2022). Reaksi hidrogenasi aseton yang berlangsung yaitu sebagai berikut:



1.4.2. Alasan Pemilihan Proses

Tabel 1. 4 Perbandingan Proses Pembuatan Isopropanol

Parameter	<i>Indirect Hydration</i>	<i>Direct Hydration</i>	Hidrogenasi Aseton
Bahan baku utama	Propilen (lokal)	Propilen (lokal)	Aseton (impor), H ₂ (lokal)
Katalis	H ₂ SO ₄	Ion-exchange resin H ₂ SO ₄	Ni-Cu/SiO ₂
Kemurnian bahan baku	- Propilen $\geq 65\text{wt}\%$ - H₂SO₄ 60-80 wt%	Propilen 92 wt%	- Aseton 99,9 wt% - Hidrogen 99,9 wt%
Konversi	93%	$\geq 75\%$	87,6%
Reaktor	Absorber & stripper	Trickle Bed, RATB	Fixed Bed Multitube
Kondisi operasi	T= 85°C; P= 23 atm	T= 150°C; P=100 atm	T= 180°C; P= 7,89 atm
Kelebihan	- Bahan baku utama mudah didapat - T operasi rendah - Konversi propilen tinggi	Bahan baku utama mudah didapat	- Nilai konversi aseton yang besar - Tidak ada by product - Membutuhkan peralatan lebih sedikit
Kekurangan	- Proses kompleks (ada <i>by-product</i>) - Katalis H₂SO₄ menyebabkan korosi. - Bahan baku turunan minyak bumi.	- Tekanan operasi tinggi - Nilai konversinya rendah - Prosesnya kompleks (ada <i>by product</i>) - Bahan baku turunan minyak bumi.	Bahan baku aseton dan katalis belum ada di Indonesia sehingga harus mengimpor.

Berdasarkan uraian tersebut, maka diputuskan untuk menggunakan proses hidrogenasi aseton dalam produksi isopropanol, dengan bahan baku berupa aseton dan gas hidrogen serta katalis Ni-Cu/SiO₂. Pemilihan metode ini didasarkan pada beberapa pertimbangan berikut:

1. Aseton yang digunakan bukan turunan dari minyak bumi, sehingga lebih berkelanjutan untuk jangka panjang.

2. Proses ini beroperasi pada tekanan yang relatif lebih rendah dibandingkan metode lainnya.
3. Tidak menghasilkan produk samping, sehingga prosesnya lebih sederhana dan tidak memerlukan banyak peralatan.
4. Tidak menimbulkan korosi tinggi pada peralatan karena tidak melibatkan penggunaan H_2SO_4 .