

Investment (ROI) yang diproyeksikan akan diperoleh dalam waktu singkat. Seperti yang diketahui dari studi kasus milik (Gutterres & Sumardi, 2015) menunjukkan bahwa pabrik isopropil benzene dengan kapasitas 40.000 ton/tahun di Cilegon, Banten memiliki ROI sebelum pajak sebesar 44,81% dan ROI setelah pajak sebesar 22,41% dengan *Payback Time* (POT) sebelum pajak 1,82 tahun

Tujuan dari pendirian pabrik isopropil benzena ini adalah untuk memenuhi kebutuhan isopropil benzena di dalam negeri sehingga diharapkan dapat mengurangi ketergantungan ketersediaan impor bahan baku yang dapat mengakibatkan penurunan keuntungan bagi industri. Selain industri di Indonesia, negara tetangga di Asia Tenggara juga memiliki kecenderungan untuk mengimpor bahan baku isopropil benzena dari negara lain. Oleh karena itu, pembangunan pabrik isopropil benzena ini diharapkan dapat memenuhi kebutuhan tersebut. Tujuan lain yang diharapkan hadir mendukung produksi isopropil benzene dalam negeri adalah untuk menciptakan lapangan pekerjaan, mendorong pertumbuhan industri hilir, meningkatkan nilai tambah dari bahan baku dalam negeri, mengurangi ketergantungan terhadap pasar global, dan meningkatkan devisa negara.

1.2 Penentuan Kapasitas Rancangan Pabrik

Prinsip pada penentuan kapasitas rancangan produksi suatu pabrik adalah kapasitas maksimal pabrik yang akan dibangun harus melebihi permintaan produk yang akan diproduksi atau sama dengan kapasitas pabrik yang sudah beroperasi. Kapasitas rancangan harus memenuhi kebutuhan isopropil benzena dalam negeri karena tujuan didirikannya pabrik isopropil benzena ini adalah untuk mengurangi ketergantungan impor isopropil benzena di Indonesia.

Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan kapasitas rancangan Isopropil Benzena, yaitu:

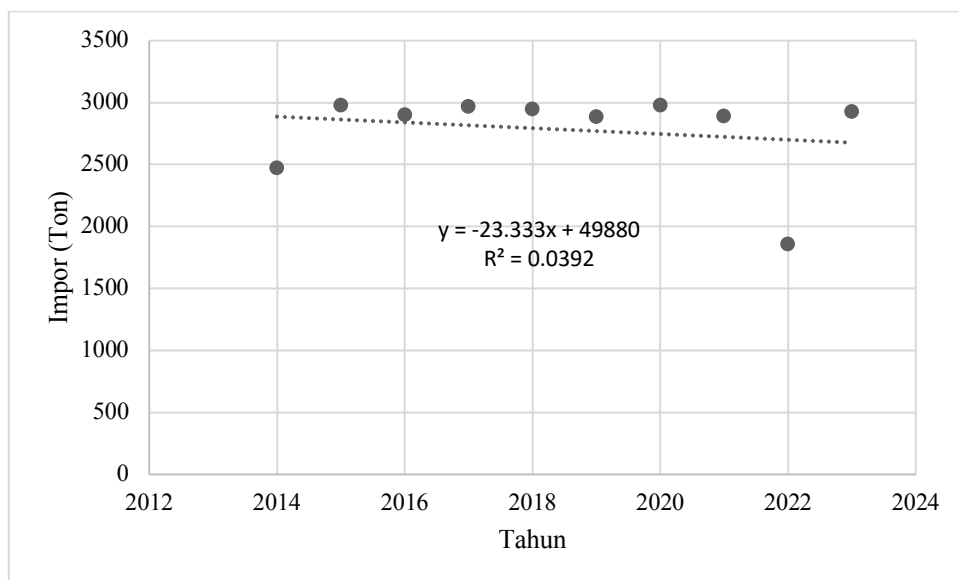
a. Proyeksi Kebutuhan Isopropil Benzena di Indonesia, Negara Tetangga, dan Global

Berdasarkan Badan Pusat Statistik, (2023), impor Isopropil Benzena di Indonesia mengalami penurunan yang tidak terlalu signifikan, dengan rata-rata impor selama sepuluh tahun terakhir (dari 2014 hingga 2023) sebesar 2.781,7646 ton per tahun. Penurunan ini disebabkan oleh pandemi *Covid-19* yang menyebabkan adanya pembatasan kegiatan ekspor dan impor. Ada penurunan secara statistik dalam menentukan proyeksi kebutuhan Isopropil Benzena di masa depan dikarenakan faktor eksternal seperti pembatasan yang disebabkan *Covid-19*. Hasil pengolahan statistika regresi linier dari data impor Isopropil Benzena di Indonesia pada tahun 2014-2023

menghasilkan persamaan regresi linear $y = -23.333x + 49880$, yang kemudian digunakan untuk menentukan proyeksi kebutuhan Isopropil Benzena pada lima tahun mendatang.

Tabel 1. 1. Data impor Isopropil Benzena di Indonesia Tahun 2018 hingga 2022
Badan Pusat Statistik, (2024)

Tahun	Impor (Ton)
2014	2.472,431
2015	2.981,695
2016	2.901,317
2017	2.970,798
2018	2.946,94
2019	2.887,077
2020	2.980,588
2021	2.889,987
2022	1.860,192
2023	2.926,621
Rata-Rata	2.781,7646



Grafik 1. 1. Trend impor Isopropil Benzena di Indonesia tahun 2014-2023

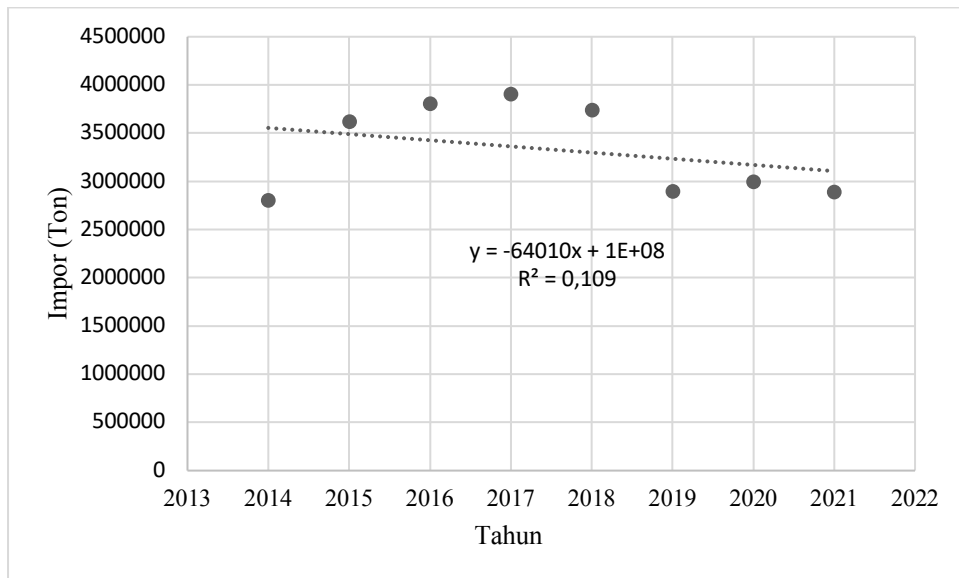
Berdasarkan data tersebut, dapat diperkirakan bahwa kebutuhan Isopropil Benzena di Indonesia dalam lima tahun ke depan yakni tahun 2029 adalah sebesar 2.537,343 ton, dibandingkan dengan rata-rata impor Isopropil Benzena di Indonesia

sebesar 2.718,7646 ton pada tahun 2014 hingga tahun 2023 jumlah tersebut tergolong lebih rendah. Perkiraan penurunan terjadi karena pemerintah Indonesia memiliki tujuan pada tahun 2030 untuk mengurangi emisi gas rumah kaca sebanyak 26 hingga 41 persen (World Bank, 2021).

Terdapat kebutuhan Isopropil Benzena di negara tetangga pada kawasan Asia Tenggara, sehingga dapat dipertimbangkan untuk menambah kapasitas pabrik yang akan didirikan. Dikarenakan penentuan kapasitas pabrik yang terlalu kecil dapat menyebabkan defisit dan tingginya *Return on Investment* (ROI). Kapasitas produksi pabrik tentunya harus ditentukan berdasarkan kebutuhan pasar. Dalam hal ini, usulan pendirian pabrik Isopropil Benzena diharapkan dapat memenuhi kebutuhan Isopropil Benzena di Indonesia dan negara-negara di kawasan Asia Tenggara dikarenakan pabrik yang memproduksi Isopropil Benzena belum tersedia di kedua wilayah tersebut.

Tabel 1. 2. Kebutuhan Isopropil Benzena di Asia Tenggara Tahun 2018-2023
(UNdata, 2024)

Tahun	Kebutuhan (Ton)
2014	2.799,999
2015	3.619,334
2016	3.803,486
2017	3.904,182
2018	3.736,503
2019	2.892,448
2020	2.997,179
2021	2.890,674
Rata-rata	3.330,475



Grafik 1. 2. Trend impor Isopropil Benzena di Asia Tenggara tahun 2014 hingga 2022

Dari hasil pengolahan statistika menurut regresi linear dari data impor Isopropil Benzena di Indonesia pada tahun 2014 hingga 2022, diperoleh persamaan regresi linear $y = -64010x + 1E+08$ yang digunakan untuk menentukan proyeksi kebutuhan Isopropil Benzena di Asia Tenggara pada tahun 2029 yaitu sebesar 29.876,29 ton. Data tersebut akan digunakan untuk mengetahui kapasitas kebutuhan domestik ditambah dengan kebutuhan negara Asia Tenggara.

b. Ketersediaan Bahan Baku

Pembangunan pabrik Isopropil Benzena ini membutuhkan bahan baku berupa propilena dan benzena. Pendirian pabrik ini tidak bergantung kepada impor dari luar negeri untuk memenuhi kebutuhan bahan bakunya, dikarenakan kedua bahan baku tersebut diketahui diproduksi di dalam negeri. Propilena dan juga benzena diproduksi oleh PT Pertamina (Persero), dengan kilang RU VI Balongan berkapasitas produksi propilena sebesar 842.000 ton/tahun dan kilang RU IV Cilacap sebesar 120.000 ton/tahun. Berdasarkan data tersebut, menunjukkan bahan baku pembangunan pabrik Isopropil Benzena dari propilena dan benzena tidak perlu diimpor dari luar negeri.

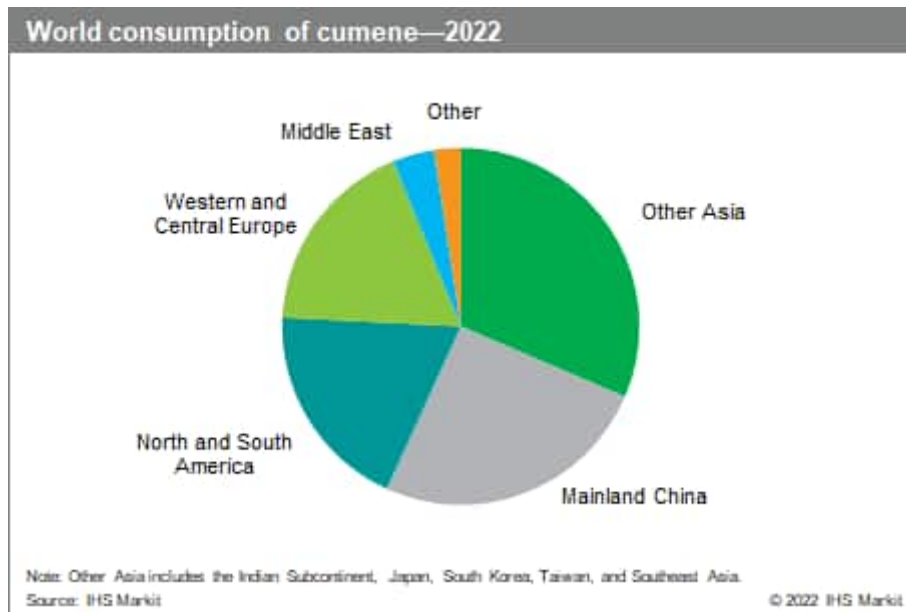
c. Skala Komersial Pabrik yang Didirikan

Kapasitas produksi pabrik Isopropil Benzena di seluruh dunia berkisar antara 5.000 hingga 290.000 ton/tahun, sehingga kapasitas pabrik yang ideal akan didirikan berkisar antara 5.000 hingga 290.000 ton/tahun.

Tabel 1. 3. Data Produsen Isopropil Benzena di Dunia

Pabrik	Lokasi	Kapasitas (Ton/tahun)
Dow Chemical	Midland, A.S	5.000
Gulf	Montreal, Kanada	60.000
BP. Chemical	Grangemounth, Inggris	95.000
Mitsubishi	Kashima, Jepang	110.000
Phone Progil	Roussilon, Perancis	130.000
Gulf	Europort, Belanda	150.000
Saras	Sardinia, Italia	180.000
Gulff	Philadelphia, A.S	200.000
Montedison	Priolo, Italia	220.000
Maxus Energy Corp	Venezuela	280.000
Celanese	Bishop, A.S	290.000

Selain ASEAN, isopropil benzene juga sangat dibutuhkan secara global. Menurut laporan S&P Global Commodity Insights (2022), penggunaan isopropyl benzene di seluruh dunia akan mencapai kurang dari 17 juta ton. Sebagian besar penggunaan akan terpusat di tiga negara utama. Asia Timur Laut diprediksikan akan memakai hampir setengah dari isopropyl benzene global, diikuti Amerika Utara dan Eropa Barat yang masing-masing berkontribusi sekitar 18% terhadap kebutuhan isopropyl benzene global di tahun 2022. Tiongkok daratan dan India diproyeksikan menjadi wilayah dengan pertumbuhan tercepat selama periode prediksi, dengan tingkat pertumbuhan tahunan rata-rata tertinggi. Hal ini terutama akan didorong oleh pembangunan pabrik baru di Tiongkok daratan. Permintaan isopropyl benzene di Amerika Utara, Eropa Tengah dan Timur, serta Timur Tengah diprediksikan akan menurun pada tahun 2022-2027.



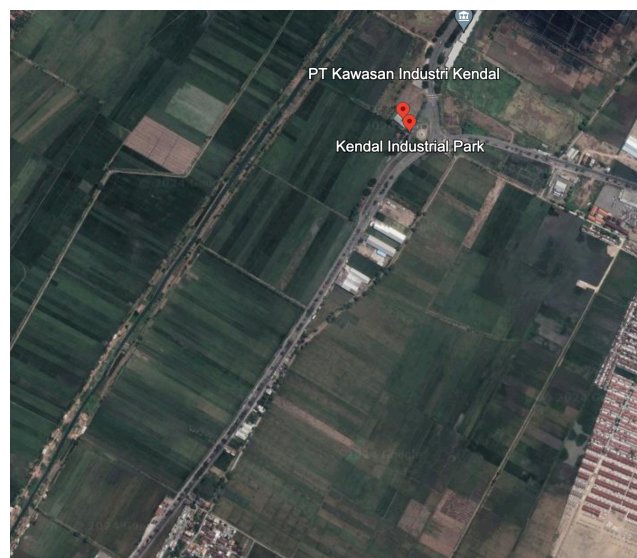
Gambar 1. 1. Konsumsi Isopropil Benzene di Dunia (S&P Global Commodity Insights, 2022)

Dari ketiga uraian tersebut, kapasitas pabrik Isopropil Benzena yang akan dibangun ditetapkan sebesar 50.000 ton/tahun. Kapasitas ini diperoleh dari analisis proyeksi kebutuhan Isopropil Benzena di Indonesia pada tahun 2029 sebesar 2.537,343 ton/tahun dan juga kebutuhan Isopropil Benzena negara tetangga di Asia Tenggara sebesar 29.876,29 ton/tahun. Dengan demikian, total proyeksi kebutuhan Isopropil Benzena di Indonesia dan negara tetangga adalah sebesar 32.413,633 ton/tahun atau dibulatkan menjadi 40.000 ton/tahun.

Pabrik Isopropil Benzena yang akan didirikan memiliki kapasitas produksi yang lebih rendah dibandingkan pabrik komersial lain yang sudah dibangun. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan komersial yang terbatas pada wilayah Asia Tenggara, dimana konsumsi Isopropil Benzena lebih rendah dibandingkan dengan sektor industri yang didirikan di Amerika dan Eropa. Oleh karena itu, pemilihan kapasitas produksi 50.000 ton/tahun dinilai lebih aman untuk pasar Indonesia dan Asia Tenggara. Hal ini dilakukan untuk menghindari produksi Isopropil Benzena yang berlebihan sehingga berdampak pada turunnya harga jual Isopropil Benzena. Kapasitas pabrik yang akan didirikan ini dapat memenuhi kebutuhan Isopropil Benzena di Indonesia dan Asia Tenggara, serta dapat memenuhi 100% proyeksi kebutuhan Isopropil Benzena di Indonesia pada 2029.

1.3 Pemilihan Lokasi Pabrik

Kawasan Industri Kendal (KIK) yang beralamatkan di Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Kabupaten Kendal, Jawa Tengah ialah lokasi yang akan digunakan untuk rencana pembangunan Kawasan Lokasi Pabrik Isopropil Benzena. Kawasan ini telah ditetapkan menjadi kawasan industri sejak tahun 2019 melalui Peraturan Pemerintah (PP) No. 85/2019 yang dikeluarkan pada 18 Desember 2019 menjadi Kawasan Ekonomi Khusus (KEK). Kawasan ini juga telah dihuni oleh 27 pabrik dengan total investor sebanyak 67 perusahaan pada tahun 2021. Kawasan Industri Kendal mempunyai luas 2.200 hektar, yaitu kawasan industri paling besar di Jawa Tengah. Informasi selengkapnya dapat dilihat di website www.kendalindustrialpark.co.id. Kawasan ini juga dilengkapi dengan fasilitas pembangunan pabrik. Dengan demikian apabila akan membangun pabrik di sana bisa menggunakan jasa kontraktor yang tersedia untuk membangun pabrik. Dapat disimpulkan bahwa lokasi ini baru namun cukup strategis dan menjanjikan karena beberapa faktor penting yang sudah tersedia, antara lain faktor fasilitas penunjang logistik meliputi jarak dengan produsen bahan baku, pemasaran produk dan sarana transportasi serta faktor-faktor lainnya yang meliputi regulasi dan ketenagakerjaan serta faktor fasilitas penunjang produksi meliputi ketersediaan listrik, pasokan air, steam, dan tenaga kerja.



Gambar 1.4. Lokasi Pabrik



Gambar 1. 2 Tanah Kosong untuk Industri

1.3.1 Faktor Fasilitas Penunjang Produksi

a. Penyediaan Air

Untuk memenuhi kebutuhan air dalam proses produksi Isopropil Benzena, pemilihan lokasi pabrik berdekatan dengan Laut Utara Pulau Jawa yang diolah terlebih dahulu di plant utilitas penyediaan air dengan proses *Reverse osmosis* untuk mengolah air laut.

b. Penyediaan Bahan Bakar dan Energi

Penyediaan energi di kawasan Kendal Industrial Park cukup terpenuhi karena ini adalah kawasan industri. Penyediaan listrik akan dipasok dari PLTU Batang Jawa Tengah untuk pemenuhan kebutuhan pabrik akan listrik.

c. Tenaga Kerja

Ketersediaan tenaga kerja dapat dapat direkrut dari Tenaga kerja yang handal dan berpengalaman di bidangnya, yang berasal dari tenaga kerja lokal maupun lulusan dari universitas di seluruh Indonesia.

1.3.2 Faktor Fasilitas Penunjang Logistik

a. Dekat dengan sumber bahan baku

Untuk mempermudah pengangkutan dan biaya yang dikeluarkan relatif cukup murah, bahan baku propilena dapat terpenuhi dari PT. Pertamina RU VI Balongan. Pembuatan propilena Balongan yang berjarak 264 km dari lokasi pabrik yang akan dibuat dan akses tersebut terpenuhi oleh jalan Tol Trans Jawa. Sedangkan bahan baku benzena dapat terpenuhi dari Pertamina RU IV Cilacap yang berjarak 221 km.

b. Pemasaran produk

Pemasaran Isopropil Benzena difasilitasi oleh Pelabuhan Tanjung emas yang berlokasi di Semarang dengan jarak yang cukup dekat dari Kendal Industrial Park. Penetapan tempat berdirinya pabrik di Kawasan Industri Kendal ini terbilang menguntungkan untuk pendistribusian bagi industri petrokimia yang terletak di kota Semarang, Gresik, Bekasi, Karawang, Tangerang, dan sebagainya.

c. Sarana transportasi

Pendistribusian material mentah maupun hasil produksi dapat difasilitasi dengan baik oleh Jalan Tol Trans Jawa yang menghubungkan pabrik dengan konsumen dan industri pemasok bahan baku, sehingga mobilitas logistik menggunakan truk dapat berjalan lancar dan hemat biaya. Sarana logistik lainnya pun diperkuat dengan lokasi pabrik yang dekat dengan Stasiun Semarang Tawang dengan jarak 32 km, sehingga transportasi logistik dengan kereta api pun dapat terdukung dengan baik. Selain itu, sarana logistik juga diperkuat dengan Pelabuhan Internasional Tanjung Emas yang memadai, hanya berjarak 35 km, sehingga memudahkan kegiatan logistik antar pulau maupun antar negara.

1.3.3 Faktor-Faktor Lainnya

Kawasan Industri Kendal Industrial Park telah resmi disahkan oleh pemerintah sebagai kawasan industri terpadu. Oleh karena itu, berbagai faktor pendukung seperti aspek lingkungan, sosial, dan pengembangan industri telah dipersiapkan secara matang. Di samping itu, upah minimum di Kabupaten Kendal tergolong rendah dibandingkan dengan daerah lain.

Selain faktor-faktor yang telah dijabarkan sebelumnya, harga tanah di Kawasan Industri Kendal tidak termasuk mahal dengan lokasi yang sangat strategis yaitu Rp 1.650.000,00 per meter persegi. Karena lokasi ini banyak fasilitas yang tersedia seperti bank, kantor notaris, kantor kontraktor, swalayan indomaret/alfamart, kantor logistik, klinik medis, dan BPJS ketenagakerjaan, serta cakupan lokasi yang cukup luas yaitu 2.200 hektar.

1.4 Penentuan Proses

Penetapan metode yang diterapkan pada pembangunan pabrik Isopropil Benzena ini berlandaskan pada prinsip ketersediaan bahan mentah, langkah-langkah proses, persentase konversi produk, dan aspek ekonomi. Dalam hal produksi Isopropil Benzena dari propilena

dan benzena, beberapa metode telah tersedia, di mana masing-masing metode memiliki keunggulan dan kelemahannya sendiri. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi untuk memilih metode yang paling sesuai dengan kapasitas terdahulu yang telah ditentukan, yaitu sebesar 50.000 ton/tahun.

1.4.1 Tinjauan Proses

Pembuatan Isopropil Benzena dari propilena dan benzena pada skala industri umumnya memanfaatkan beberapa metode yang telah dipatenkan, seperti proses Monsanto-Lummus, proses DOW, proses Cumox, dan proses Q-Max. Setiap metode tersebut memiliki peralatan produksi, katalis, dan kondisi operasi yang berbeda-beda, sehingga diperlukan evaluasi untuk memilih metode yang paling optimal bagi kondisi pabrik Isopropil Benzena yang akan didirikan.

1.4.1.1 Proses Monsanto-Lummus

Dalam proses pembuatan Isopropil Benzena dengan metode Monsanto-Lummus, propilena dan benzena anhidrat dicampurkan dalam reaktor alkilasi yang dilengkapi dengan katalis $AlCl_3-HCl$ pada suhu dan waktu reaksi yang terkendali. Setelah reaksi selesai, air dan kaustik ditambahkan ke reaktor untuk memisahkan komponen organik dari asam kuat. Kelebihan metode ini adalah penggunaan benzena yang relatif rendah dibandingkan metode lain karena terdapat proses daur ulang benzena. Namun, kekurangannya adalah belum tersedianya unit pemisahan Isopropil Benzena dari diisopropilbenzena (DIPB), yang merupakan produk samping dari proses alkilasi benzena dan propilena. Konversi Isopropil Benzena pada metode ini mencapai 88,4%. (Bokade & Kharul, 2005).

1.4.1.2 Proses Cumox/Solid Phosphoric Acid (SPA)

Dalam proses pembuatan Isopropil Benzena dengan metode Cumox atau SPA, asam fosfat padat (Solid Phosphoric Acid / SPA) difungsikan sebagai katalis. Reaktor alkilasi yang digunakan berjenis fixed bed dengan kondisi operasi pada suhu 275 derajat Celcius dan tekanan 18 atmosfer. Hasil reaksi kemudian dialirkan ke flash drum untuk memisahkan propana dari Isopropil Benzena, DIPB, dan benzena. Cairan pada flash drum dialirkan ke kolom benzena. Umpan yang terdiri dari benzena, Isopropil Benzena, dan DIPB dipisahkan pada kolom benzena. Di bagian atas kolom, benzena dan sebagian kecil Isopropil Benzena, dan DIPB akan keluar. Aliran bagian atas kolom kemudian dikembalikan bersama dengan benzena segar untuk masuk ke reaktor alkilasi. Bagian bawah kolom yang sebagian besar berisi Isopropil Benzena selanjutnya

dialirkan ke kolom Isopropil Benzena untuk dipisahkan dari fraksi-fraksi berat lainnya. Kemurnian produk Isopropil Benzena yang dihasilkan mencapai 99,9% mol dengan konversi sebesar 71,7% (Srivastava et al., 2023).

1.4.1.3 Proses UOP Catalytic Condensation

Dalam metode UOP *Catalytic Condensation* untuk pembuatan Isopropil Benzena, katalis $H_3PO_4-AlCl_3$ digunakan dalam reaktor kolom adiabatik yang dilengkapi dengan penyearah dan alat penghilang propana. Aliran propilena dimasukkan ke penyearah, sedangkan aliran benzena masuk ke alat penghilang propana dan bertemu dengan propilena dari penyearah. Umpan kemudian dikondisikan dengan penukar panas sebelum dialirkan ke reaktor kolom yang dilengkapi dengan katalis $H_3PO_4-AlCl_3$ dalam kondisi adiabatik. Aliran tersebut kemudian dialirkan kembali ke penyearah dan diteruskan ke kolom siklus ulang, clay treater, dan akhirnya dipisahkan pada kolom Isopropil Benzena untuk memisahkan produk Isopropil Benzena dan aromatik berat. Proses ini menghasilkan Isopropil Benzena dengan kemurnian hingga 99,4% dan konversi sebesar 95% (Kirk-Othmer, 2001).

1.4.1.4 Proses Q-Max

Metode Q-Max untuk pembuatan Isopropil Benzena menghasilkan Isopropil Benzena dengan kemurnian mencapai 99,7%. Proses ini menggunakan bahan berwujud gas dengan tekanan 25 atmosfer pada suhu 350 derajat Celcius yang memiliki tingkat selektivitas tinggi dan menggunakan katalis berbasis zeolit yang dapat digunakan berulang kali. Bahan bakunya adalah benzena dan propilena, di mana dalam prosesnya akan terjadi dua reaksi. Reaksi pertama berlangsung di reaktor pertama jenis *fixed bed multitube*, menghasilkan Isopropil Benzena sebagai produk utama dan diisopropilbenzena (DIPB) sebagai produk samping. Selanjutnya, pada tahap kedua di reaktor kedua, terjadi transkilasi antara DIPB (produk samping Cumene) dengan benzena, menghasilkan Isopropil Benzena ringan. Hal ini meningkatkan konversi Isopropil Benzena dan meminimalkan impuritas DIPB. Proses ini menghasilkan Isopropil Benzena dengan kemurnian mencapai 99,97% dan konversi sebesar 99,7% (Meyers, 2004).

1.4.2 Uraian Umum Proses Terpilih

Metode yang ditetapkan untuk pembangunan pabrik Isopropil Benzena dari propilena dan benzena ini adalah metode Alkilasi-Transalkilasi Benzena berbasis katalis Zeolit, serupa dengan yang digunakan pada proses Q-Max. Pemilihan metode

ini didasari oleh konversi atau hasil terbesar serta kemurnian Isopropil Benzena yang tinggi dibandingkan dengan metode lain. Metode terpilih ini menerapkan prinsip reaksi Alkilasi-Transalkilasi Benzena dengan konversi mencapai 99,7% dan kemurnian produk Isopropil Benzena mencapai 99,97%. Katalis yang digunakan dalam metode ini adalah katalis QZ-2000, yaitu katalis berbasis zeolit.

Penerapan katalis berbasis zeolit dinilai lebih menguntungkan dibandingkan dengan penggunaan katalis asam. Hal ini disebabkan oleh ketahanan katalis zeolit terhadap korosi pada reaktor, yang bertentangan dengan katalis asam yang berpotensi menimbulkan korosi pada reaktor. Katalis QZ-2000 unggul dibandingkan katalis lainnya karena memiliki masa pakai yang lebih lama dibandingkan katalis asam maupun katalis $AlCl_3$. Keunggulan ini dapat menekan biaya dan meminimalkan limbah katalis, sehingga meningkatkan efisiensi biaya operasional pabrik (Meyers, 2004).

Metode Alkilasi-Transalkilasi Benzena dengan katalis zeolit menghasilkan Isopropil Benzena dengan kadar impuritas yang minimal. Hal ini dimungkinkan oleh peralatan produksi Isopropil Benzena yang canggih, meliputi reaktor alkilasi, menara destilasi, dan reaktor transalkilasi. Produk samping dari proses ini diolah kembali (*recovery*) untuk meningkatkan kemurnian Isopropil Benzena yang dihasilkan (Meyers, 2004).

Dalam pra-rancangan Pabrik Isopropil Benzena dengan metode Alkilasi-Transalkilasi Benzena berbasis katalis zeolit yang dipilih ini, terdapat beberapa inovasi pada rangkaian prosesnya, yaitu:

1. Rangkaian reaktor disusun secara seri untuk menekan biaya pembangunan pabrik.
2. Rangkaian proses yang dirancang ini secara ekonomis lebih menguntungkan, karena mampu memisahkan kelebihan benzena yang dapat dijual kembali.
3. Kolom DIPB dihilangkan, sehingga biaya pembangunan pabrik dapat ditekan. Prinsipnya adalah DIPB, yang merupakan impuritas, akan dialirkan kembali dari menara destilasi Isopropil Benzena ke reaktor transalkilasi untuk diolah kembali (*recovery*) sehingga kemurnian Isopropil Benzena meningkat.

Spesifikasi produk yang dihasilkan melalui proses Q-Max tercantum pada tabel di bawah ini.

Tabel 1. 4. Spesifikasi Isopropil Benzena Hasil Produksi dengan Proses Terpilih
(Meyers, 2004).

Parameter	Spesifikasi
Kemurnian Isopropil Benzena	99,7% (b/b)
Indeks Bromina	<5
Sulfur	<0,05 ppm (b/b)
Impuritas Hidrokarbon	
Total Non-Aromatik	~10 ppm (b/b)
Etil Benzena	≤ 15
n-propilbenzena	< 250-300 ppm (b/b)
Butilbenzena	≤ 15 ppm (b/b)
<i>Cymenes</i>	0-20 ppm (b/b) (Tergantung pada tolene dalam benzena)
DIPB	0-5 ppm (b/)

BAB II

DESKRIPSI PROSES

2.1 Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

2.1.1 Spesifikasi Bahan Baku

Bahan baku yang dipakai pada proses produksi isopropil benzene menerapkan proses alkilasi-transalkilasi ialah propilena dan benzena, dengan komposisi dari propilena adalah 99,60% yang didistribusikan dari PT Pertamina RU VI Balongan, Indramayu, Jawa Barat dan benzena mempunyai susunan 99,90% yang didistribusikan dari PT Pertamina RU IV Cilacap, Jawa Tengah. Kualitas bahan baku perlu dipertimbangkan untuk mempelajari bagaimana prosedur pengolahan material tersebut baik pada proses transportasi bahan baku maupun pada proses produksi, dengan demikian peninjauan mengenai kualitas fisik dan kimia dari bahan baku perlu untuk diketahui.

1. Spesifikasi Propilena

a. Sifat Fisik

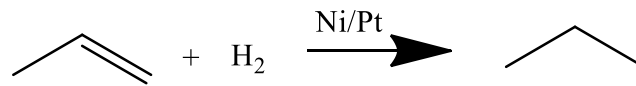
Berat molekul	= 42.08 gr/mol
Titik beku	= -185 °C
Titik didih	= -48 °C
Titik leleh	= -185 °C
Titik nyala	= -108 °C
Tekanan uap (pada 19,8 °C)	= 10 atm
Densitas uap (pada 0 °C)	= 0.609
Viskositas (pada 16,7 °C)	= 1,46 mmHg
Panas penguapan	= 18,42 kJ/mol
Panas pembakaran	= 45803,59 kJ/mol
Indeks bias (-40 °C/D)	= 1.3567
Kelarutan (air, ppada 25 °C, 1 atm)	= 200 mg/L

b. Sifat Kimia

- **Reaksi Hidrogenasi**

Propilena dapat menerima penambahan hidrogen dari reaksi hidrogenasi dengan dibantu oleh gas H₂ dan katalis nikel atau platina menciptakan

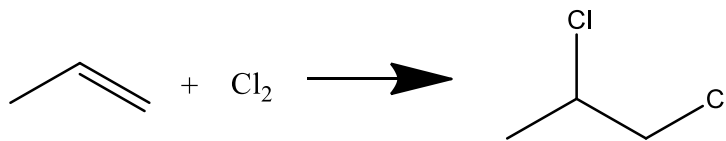
senyawa alkana yakni propana melalui reaksi seperti berikut (Solomons & Fryhle, 2012).



Gambar 2. 1. Reaksi hidrogenasi propilena

- **Reaksi Adisi Hidrogen**

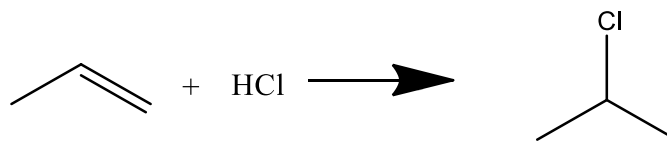
Propilena dapat bereaksi secara adisi dengan dibantu oleh senyawa halogen misalkan gas Cl_2 dan golongan halogen lainnya menciptakan senyawa haloalkana yaitu 1,2-dikloropropana melalui reaksi seperti berikut (Solomons & Fryhle, 2012).



Gambar 2. 2. Reaksi adisi halogen dari propilena

- **Reaksi Adisi Asam Halida**

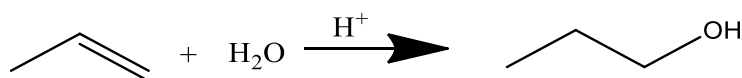
Propilena dapat bereaksi secara adisi dengan adanya senyawa asam halida misalkan HCl dan golongan asam halida lainnya menciptakan senyawa haloalkana yakni 2-kloropropana melalui reaksi seperti berikut (Solomons & Fryhle, 2012).



Gambar 2. 3. Reaksi adisi asam halogen dari propilena

- **Reaksi Hidrasi**

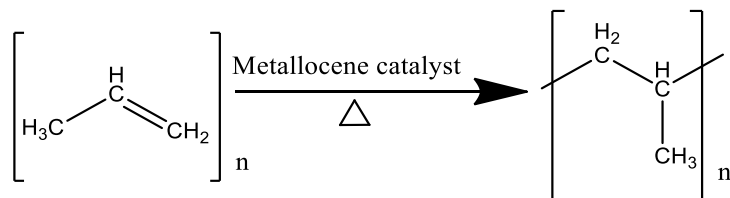
Propilena bereaksi secara hidrasi dengan dibantu oleh senyawa H_2O dan larutan asam yang menciptakan senyawa alkohol yakni 1-propanol melalui reaksi seperti berikut (Solomons & Fryhle, 2012).



Gambar 2.4. Reaksi hidrasi propilena

- **Reaksi Polimerisasi**

Propilena bereaksi secara polimerisasi yang terdiri atas tiga fase yakni tahap inisiasi, tahap propagasi, dan tahap terminasi, dimana pembentukan polipropilena dari propilena disebabkan oleh terbentuknya radikal karbon pada fase inisiasi yang memicu reaksi radikal, maka monomer propilena akan terpolimerisasi menjadi polipropilena (Solomons & Fryhle, 2012).



Gambar 2. 5. Reaksi polimerisasi propilena menjadi polipropilena

2. Spesifikasi Benzena

a. Sifat Fisik

Berat molekul	= 78,11 gr/mol
Titik beku	= -96,03 °C
Titik didih	= 80,08 °C
Titik leleh	= 5,5 °C
Titik nyala	= -11 °C
Tekanan uap (pada 15 °C)	= 60 mmHg
Densitas (pada 20 °C)	= 0.879
Densitas uap	= 2,77 atm
Viskositas (pada 25 °C)	= 0,604 mPa.s
Panas penguapan	= 33,83 kJ/mol
Panas pembakaran	= -3267,6 kJ/mol
Indeks bias (20 °C/D)	= 1,5011
Kelarutan (air, pada 25 °C)	= 0,18 g/100 MI

b. Sifat Kimia

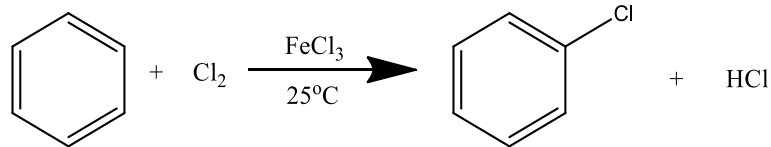
- **Sifat kimia tertentu dari cincin benzena**

Benzena ialah sebuah zat kimia organik yang mengandung struktur cincin rangkap dua yang terkonjugasi. konjugasi dari ikatan rangkap ini mengakibatkan ikatan rangkap dalam benzena tidak dapat mengalami adisi, dengan demikian benzena hanya mengalami reaksi substitusi misalkan

substitusi dengan halogen, sulfat, nitrat dan juga alkil (Solomons & Fryhle, 2012).

- **Reaksi halogenisasi**

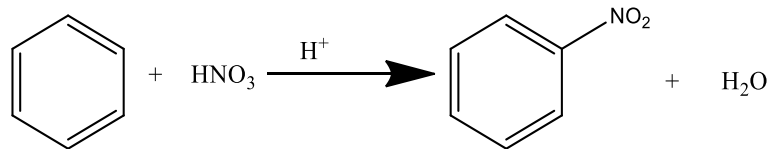
Benzena bisa mengalami reaksi substitusi halogen dengan adanya gas Cl_2 dan asam lewis yaitu katalis FeCl_3 pada suhu 25°C menciptakan klorobenzena dengan reaksi seperti berikut.



Gambar 2. 6. Reaksi halogenasi benzena

- **Reaksi nitrasi**

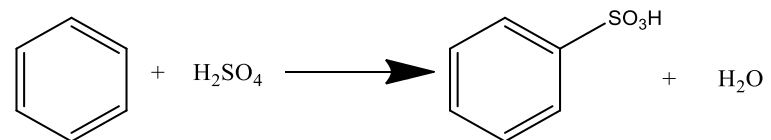
Benzena bereaksi substitusi nitrat dengan adanya HNO_3 dan katalis asam, dengan demikian menciptakan nitrobenzena melalui reaksi seperti berikut.



Gambar 2. 7. Reaksi nitrasi benzena

- **Reaksi sulfatasi**

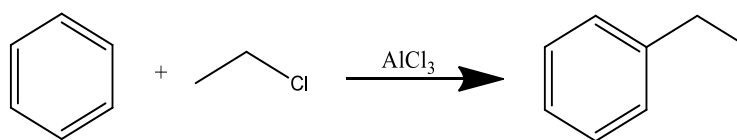
Benzena bereaksi secara substitusi sulfat karena keberadaan H_2SO_4 atau SO_3 menciptakan benzenosulfonat melalui reaksi seperti berikut.



Gambar 2. 8. Reaksi sulfatasi benzena

- **Reaksi alkilasi-transalkilasi**

Benzena dapat mengalami reaksi alkilasi menurut Alkilasi-Transalkilasi *alkylation rule* dikarenakan adanya alkil halida dan AlCl_3 menciptakan alkil benzena melalui reaksi seperti berikut.



Gambar 2. 9. Reaksi alkilasi benzena

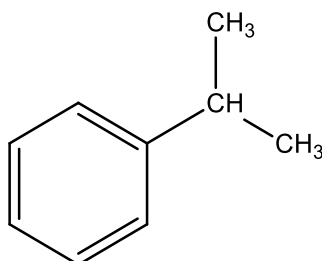
2.1.2 Spesifikasi Bahan Penunjang

Bahan penunjang pada penciptaan isopropil benzena ialah katalis. Katalis yang dipergunakan ialah katalisator QZ-2000 (*Zeolite*), berdasarkan spesifikasi dari Jiangsu Modern Enviromental Protection Technology Co., Ltd. Jiangsu, Tiongkok dengan spesifikasi seperti berikut.

Tabel 2. 1. Spesifikasi katalis zeolit QZ-2000

Parameter	Nilai
Nama	Katalis Zeolit QZ-2000
Bentuk	Sphere
Diameter	1,6 mm
Densitas <i>Bulk</i>	1000 kg/m ³
Porositas	40%

2.1.3 Spesifikasi Produk Isopropil Benzena



Gambar 2. 10. Struktur molekul Isopropil Benzena (PubChem, 2023)

Isopropil benzena atau dinamakan dengan nama IUPAC *1-methylethylbenzene* atau nama *trivia isopropylbenzene* ialah senyawa kimia organik aromatik yang disusun oleh 1 cincin benzena yang tersubstitusi dengan isopropil. Isopropil benzena ialah material dalam produksi isopropil benzena hidroperoksida yang menjadi bahan *intermediate* pada produksi fenol dari isopropil benzena hidroperoksida (Nikfar & Behboudi, 2014).

Isopropil benzena dengan kemurnian yang tinggi biasanya dibuat dari material berupa propilena dan benzena serta merupakan salah satu produk petroleum

yang menjadi material dari beberapa industri manufaktur misalnya *plywood coatings*, resin berbasis fenol, nilon-6, resin berbasis epoksi, resin berbasis polikarbonat hingga pelarut. Isopropil benzena telah dibuat dari 1977 hingga 1987 di Amerika Serikat dengan rata-rata produksi per tahun di sekitar antara 1,2 hingga 1,8 ton per metrik (Kirk-Othmer, 2001).

Menurut Meyers (2004), isopropil benzene dibuat dari propilena dan benzena dengan proses alkilasi-transalkilasi demi mendapatkan isopropil benzena dengan kemurnian mencapai 99,7% beserta pengotor DIPB yang relatif kecil yaitu berkisar antara 0 – 5 ppm. Pengotor DIPB ialah kesulitan terbesar untuk mendapatkan isopropil benzene dengan kemurnian tinggi. Dalam proses pendirian pabrik, sudah pasti sifat fisik serta sifat kimia dari isopropil benzena sebagai produk memerlukan perhatian dengan tujuan sebagai bahan pertimbangan dalam tahap perancangan atau konstruksi alat proses terutama dalam pemilihan material alat dan desain dari peralatan proses.

1. Sifat Fisik Isopropil Benzena

Berat molekul	= 120,19 gr/mol
Titik beku	= -96,03°C
Titik didih	= 152,39°C
Titik leleh	= -96,0°C
Titik nyala	= 44°C
Tekanan uap (pada 35°C)	= 1 kPa
Densitas (pada 20°C)	= 0.8619 g/cm ³
Densitas uap (terhadap udara)	= 4:1
Viskositas (pada 25 °C)	= 0,737 mPa.s
Panas penguapan	= 45,13 kJ/mol
Konduktivitas termal (pada 25°C)	= 1,4915 kJ/mol
Indeks bias	= 0,124 n_D^{20}
Kelarutan (air, pada 25°C)	= 61,3 mg/L

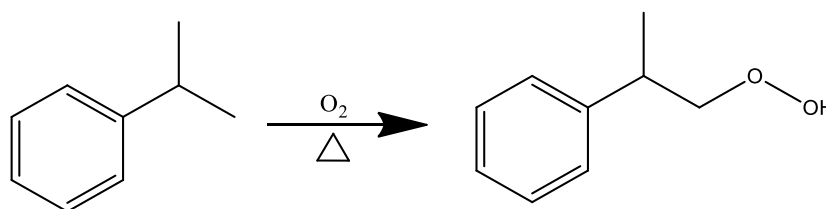
2. Sifat Kimia Isopropil Benzena

Isopropil benzene ialah senyawa aromatik yang mempunyai satu cincin benzene dengan ikatan rangkap terkonjugasi, dengan demikian sifat dari isopropyl benzena akan sama dengan sifat kimia benzena yaitu tidak dapat mengalami reaksi adisi melainkan hanya mengalami reaksi substitusi baik secara elektrofilik maupun nukleofilik (Solomons & Fryhle, 2012). Di samping itu,

isopropyl benzena berpotensi mengalami reaksi oksidasi dengan keberadaan oksigen dan panas mewujudkan isopropyl benzena hidroperoksida, dimana isopropyl benzena hidroperoksida ialah bahan baku antara dalam proses pembuatan fenol dan aseton (Kharlampidi et al., 2021).

- Reaksi Oksidasi

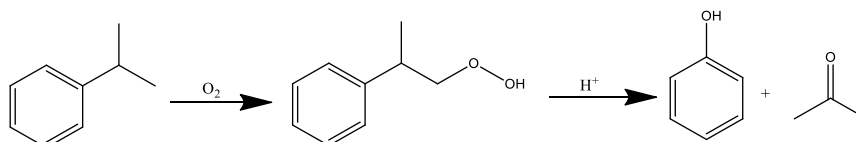
Isopropil benzene bereaksi bersama oksigen pada suhu $99,85^{\circ}\text{C}$ dalam reaktor betripe kolom yang dilengkapi dengan katalis kompleks tembaga membentuk Isopropil benzene hidroperoksida. Reaksi oksidasi Isopropil benzene menghasilkan Isopropil benzene hidroperoksida berjalan lambat sehingga kinetika reaksi bergantung pada konsentrasi dari oksigen. Reaksi oksidasi Isopropil benzene menghasilkan Isopropil benzene hidroperoksida dapat dilihat sebagai berikut (Kharlampidi *et al.*, 2021).



Gambar 2. 11. Reaksi oksidasi Isopropil benzene

- Reaksi Pembentukan Fenol

Isopropil benzene akan bereaksi dengan oksigen dan asam untuk membentuk fenol dengan hasil samping berupa aseton. Proses pembentukan fenol dari Isopropil benzene terdiri dari 2 tahap diantaranya adalah pembentukan Isopropil benzene hidroperoksida dan tahap selanjutnya ialah hidrolisis Isopropil benzene hidroperoksida yang selanjutnya akan menghasilkan fenol dan aseton. Reaksi pembentukan fenol dari Isopropil benzene dapat ditinjau seperti berikut.



Gambar 2. 12. Reaksi pembentukan fenol dari Isopropil benzene

3. Kegunaan Produk Isopropil Benzena

- Sebagai bahan baku pembuatan Isopropil Benzena Hidroperoksida

Isopropil benzene ialah bahan baku dalam produksi Isopropil benzene hidroperoksida, dimana Isopropil benzene hidroperoksida diperoleh melalui proses oksidasi dari Isopropil benzene oleh oksigen. Isopropil benzene hidroperoksida ialah bahan baku antara dalam proses penciptaan fenol, aseton dan resin fenolik. Industri yang membutuhkan Isopropil benzene hidroperoksida diantaranya ialah industri pembuatan fenol, aseton, tuner dan resin fenolik (Kharlampidi *et al.*, 2021).

- Sebagai bahan baku antara dalam pembuatan aseton

Isopropil benzene ialah bahan baku dalam pembuatan aseton. Aseton dikenal juga dengan dimetil keton atau 2-propanon yang merupakan senyawa penting dari alifatik keton. Kegunaan aseton pada industri yaitu selulosa asetat, cat, serat, plastik, karet, kosmetik, perekat, pernis, penyamakan kulit, pembuatan minyak pelumas, dan proses ekstraksi juga sebagai bahan baku pembuatan metil isobutil keton. Proses yang terjadi pada pembuatan aseton yaitu Isopropil benzenen dioksidasi menjadi fenol dan aseton, dengan proses ini menghasilkan lebih dari 95% aseton yang diproduksi di seluruh dunia (Kharlampidi *et al.*, 2021).

- Sebagai bahan baku antara dalam pembuatan acetophenone

Isopropil benzene ialah bahan baku yang berasal dari pembuatan acetophenone, dimana acetophenone komersil didapatkan dari deasetilasi Isopropil benzene. Acetophenone sering digunakan dalam industri aromatik sebagai bahan campuran parfum dengan anisaldehyde dan sebagai bahan pelarut untuk cat atau kertas eter dan ester untuk produksi alkohol.

- Sebagai bahan pelarut dalam industri *plywood*

Isopropil benzene dipergunakan sebagai bahan pelarut dalam industri *plywood* seperti *particle board* atau plafon berbasis *plywood*. Penggunaan Isopropil benzene untuk pelarut terdapat pada proses *coating* produk *plywood* dengan plitur yang menggunakan pelarut Isopropil benzene (Srivastava *et al.*, 2023).

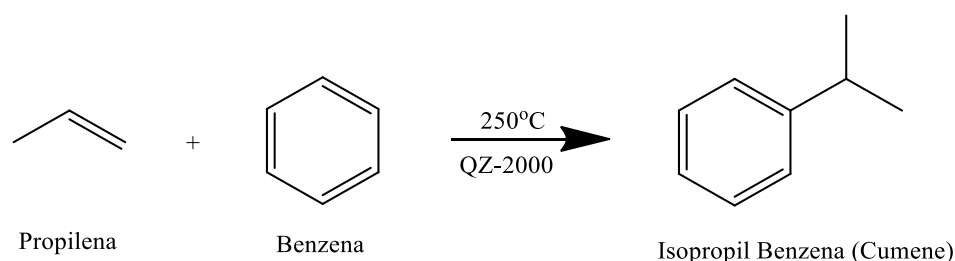
- Sebagai bahan campuran pada avtur

Isopropil benzene dipergunakan sebagai komponen dari beberapa hidrokarbon cair seperti bahan bakar penerbangan sebagai bahan aditif untuk meningkatkan angka oktan minyak bumi dan bahan penggerak. Aviation Turbine Fuel (AVTUR) atau secara Internasional lebih dikenal dengan nama Jet A-1 ialah bahan bakar untuk pesawat terbang jenis jet, baik tipe jet propulsion atau propeller (Velikov *et al.*, 1999).

2.2 Konsep Proses

2.2.1 Dasar Reaksi

Pembuatan Isopropil benzene berlangsung pada fase gas yang bersifat eksotermis dan *irreversible* dengan satu tahap reaksi propilena dan benzena membentuk isopropil benzene (Isopropil benzene) dengan reaksi samping berupa pembentukan diisopropil benzene (DIPB) menurut persalmaan reaksi seperti berikut.



Gambar 2. 13. Reaksi utama pada pembentukan Isopropil benzene dari propilena dan benzena

Pembuatan Isopropil benzene dari propilena dan benzena mengandung prinsip dasar reaksi alkilasi Alkilasi-Transalkilasi. Reaksi Alkilasi-Transalkilasi Benzena dijelaskan sebagai reaksi substitusi alkil melalui pembentukan ion karbonium sebagai elektrofilik pada alkil yang akan ditambahkan dan selanjutnya elektrofilik tersebut akan mensubstitusi atom hidrogen pada senyawa target (Solomons & Fryhle, 2012), dalam hal ini elektrofilik akan terbentuk dari propilena dengan senyawa target berupa benzena.

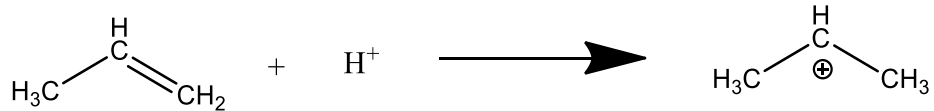
2.2.2 Mekanisme Reaksi

Reaksi Alkilasi-Transalkilasi Benzena yang menjadi dasar metode pada perancangan ini memiliki 3 (tiga) tahapan mekanisme reaksi, yaitu pembentukan

elektrofilik, adisi elektrofilik dan eliminasi ion hidrogen yang dengan uraian mekanisme reaksi seperti berikut.

- Tahap 1. Pembentukan elektrofilik

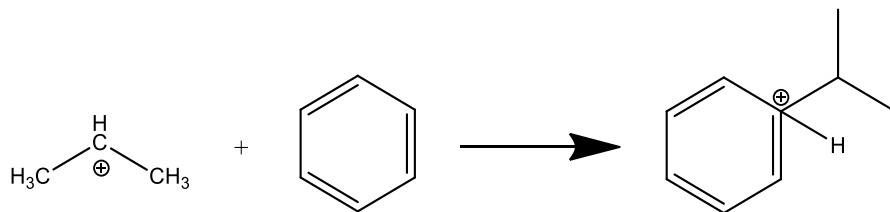
Elektrofilik yang terbentuk ialah suatu karbokation, dengan keberadaan H^+ atom karbon nomor 2 pada senyawa propilena akan membentuk karbokation sekunder yang lebih stabil dan bersifat radikal.



Gambar 2. 14. Reaksi Pembentukan Elektrofilik

- Tahap 2. Adisi elektrofilik

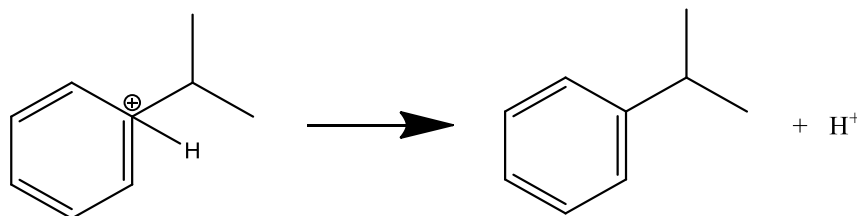
Karbokation sekunder yang terbentuk pada tahap sebelumnya, selanjutnya akan menyerang benzena, dengan demikian salah satu karbon pada benzena akan kelebihan hidrogen dan terbentuklah ion arhenium.



Gambar 2. 15. Reaksi Adiksi Elektrofilik

- Tahap 3. Eliminasi ion hidrogen

Ion arhenium yang terbentuk selanjutnya akan mengalami pelepasan ion hidrogen untuk mencapai stabilitas, maka kemudian Isopropil benzene akan terbentuk.



Gambar 2. 16. Reaksi Eliminasi Ion Hidrogen

2.2.3 Kondisi Operasi

Berdasarkan sumber bacaan yang diperoleh dari Andersen & Wenzel, (1962) pada buku *“Introduction to Chemical Engineering”* halaman 322, parameter operasi

reaksi pada proses produksi Isopropil benzene dari propilena dan benzena ialah seperti berikut.

Tabel 2. 2. Kondisi operasi reaksi pembentukan Isopropil benzene dari propilena dan benzena (Andersen & Wenzel, 1962)

Parameter	Nilai
Fase	Gas
Suhu	250°C
Tekanan	27,22 atm
Rasio Molar	1:2
Propilena : Benzena	

2.2.4 Tinjauan Termodinamika

Berdasarkan data yang didapat dari sumber literatur “*Chemical Properties Handbook*” Yaws, (1999) pada tabel 12-1, diketahui nilai ΔH_f standar, A, B dan C pada $T = 298K$ (25°C) untuk setiap komponen yang ikut serta dalam pembentukan Isopropil benzene dari propilena dan benzena adalah sebagai berikut.

Tabel 2. 3. Nilai entalpi pembentukan standar (Yaws, 1999)

Komponen	A	B	C	ΔH_f° (kJ/mol K)
Propilena (C ₃ H ₆)	37,334	$-6,5191 \times 10^{-2}$	$2,8085 \times 10^{-5}$	20,42
Benzena (C ₆ H ₆)	101,403	$-7,2136 \times 10^{-2}$	$3,2877 \times 10^{-5}$	82,93
Isopropil benzene (C ₉ H ₁₂)	36,884	$-1,1368 \times 10^{-1}$	$6,3911 \times 10^{-5}$	3,93

Pada desain ini ditetapkan untuk kondisi operasi reaksi pada temperatur 250°C. Entalpi pembentukan untuk setiap komponen dihitung menggunakan metode berikut melalui perhitungan menurut Yaws, (1999).

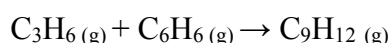
$$\Delta H_f = A + BT + CT^2$$

Menurut persamaan di atas, sehingga dapat ditetapkan nilai ΔH_f untuk setiap komponen pada $T = 523K$ (250°C) ialah seperti berikut.

Tabel 2. 4. Nilai entalpi pembentukan pada 523K

Komponen	ΔH_f° (kJ/mol K)	ΔH_f° (kJ/mol K) T
	T = 298K	= 523K
Propilena (C ₃ H ₆)	20,42	37,308
Benzena (C ₆ H ₆)	82,93	101,374
Isopropil Benzena (C ₉ H ₁₂)	3,93	36,842

Reaksi yang berlangsung pada desain ini dapat dituliskan seperti berikut.



Untuk menentukan nilai panas reaksi atau ΔH_r pada desain ini, menurut Yaws, (1999) bisa digunakan persamaan seperti berikut.

$$\Delta H_r = [\Delta H_f \text{ Produk}] - [\Delta H_f \text{ Reaktan}]$$

Dengan demikian pada desain ini menggunakan temperatur 250°C atau 523K dengan propilena dan benzena sebagai reaktannya, serta Isopropil benzene sebagai produk, maka perhitungan nilai panas reaksi pada desain ini ialah seperti berikut.

$$\Delta H_r = [\Delta H_{f523K} \text{ C}_9\text{H}_{12}] - [(\Delta H_{f523K} \text{ C}_3\text{H}_6) + (\Delta H_{f523K} \text{ C}_6\text{H}_6)]$$

$$\Delta H_r = [36,842] - [(37,308) + (101,374)] \text{ kJ/mol K}$$

$$\Delta H_r = -101,840 \text{ kJ/mol K}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, sehingga diperoleh kesimpulan bahwa pada perancangan produksi Isopropil benzene dari propilena dan benzena ini menghasilkan reaksi yang bersifat eksotermis dengan nilai $\Delta H_r = -88,6790 \text{ kJ/mol K}$.

Menurut data yang didapat dari sumber literatur “*Chemical Properties Handbook*” Yaws, (1999) pada tabel 13-1, diperoleh nilai ΔG_f standar, A, B dan C pada T = 298K (25°C) untuk masing-masing komponen yang terlibat pada pembentukan Isopropil benzene dari propilena dan benzena ialah seperti berikut.

Tabel 2. 5. Nilai entropi pembentukan standar (Yaws, 1999)

Komponen	A	B	C	ΔG_f° (kJ/mol K)
Propilena (C ₃ H ₆)	19,412	1,3685×10 ⁻¹	2,5749×10 ⁻⁵	62,72
Benzena (C ₆ H ₆)	81,512	1,5282×10 ⁻¹	2,6522×10 ⁻⁵	129,66
Isopropil Benzena	0,983	4,4175×10 ⁻¹	4,3406×10 ⁻⁵	136,98

Pada desain ini ditetapkan kondisi operasi reaksi pada temperatur 250°C, dengan demikian besar energi Gibbs pembentukan dari masing-masing komponen diketahui melalui perhitungan berikut menurut Yaws, (1999).

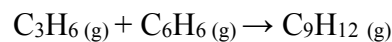
$$\Delta G_f = A + BT + CT^2$$

Menurut persamaan di atas, sehingga dapat diperoleh nilai ΔG_f masing-masing komponen pada T = 523K (250°C) ialah seperti berikut.

Tabel 2. 6. Nilai entropi pembentukan pada 523K

Komponen	ΔG_f° (kJ/mol K)	
	T = 298K	T = 523K
Propilena (C ₃ H ₆)	62,72	19490,62
Benzena (C ₆ H ₆)	129,66	81599,18
Isopropil Benzena (C ₉ H ₁₂)	136,98	243,89

Reaksi yang berlangsung pada desain ini dituliskan seperti berikut.



Untuk menetapkan energi Gibbs reaksi atau ΔG_r pada desain ini, menurut Yaws, (1999) dipergunakan persamaan seperti berikut.

$$\Delta G_r = [\Delta G_f \text{ Produk}] - [\Delta G_f \text{ Reaktan}]$$

Dengan demikian pada desain ini akan digunakan temperatur 250°C atau 523K dengan propilena dan benzena sebagai reaktannya, serta Isopropil benzene sebagai produk maka perhitungan nilai energi Gibbs reaksi pada desain ini ialah seperti berikut.

$$\Delta G_r = [\Delta G_{f523K} C_9H_{12}] - [(\Delta G_{f523K} C_3H_6) + (\Delta G_{f523K} C_6H_6)]$$

$$\Delta G_r = [243,89] - [(19490,62) + (81599,18)] \text{ kJ/mol K}$$

$$\Delta G_r = -100845,904 \text{ kJ/mol K}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, sehingga diperoleh kesimpulan pada perancangan produksi Isopropil benzene dari propilena dan benzena ini menghasilkan reaksi yang bersifat spontan dengan nilai $\Delta G_r = -100845,904 \text{ kJ/mol K}$.

Untuk mendapatkan nilai K_0 , maka perlu untuk mengetahui nilai energi bebas Gibbs standar (ΔG_r°) pada $T = 298\text{K}$ (25°C) menurut perhitungan seperti berikut.

$$\Delta G_r^\circ = [\Delta G_f^\circ \text{ Produk}] - [\Delta G_f^\circ \text{ Reaktan}]$$

$$\Delta G_r^\circ = [\Delta G_f^\circ \text{C}_9\text{H}_{12}] - [(\Delta G_f^\circ \text{C}_3\text{H}_6) + (\Delta G_f^\circ \text{C}_6\text{H}_6)]$$

$$\Delta G_r^\circ = [136,98] - [(62,72) + (129,66)] \text{ kJ/mol K}$$

$$\Delta G_r^\circ = -55,4 \text{ kJ/mol K}$$

Nilai konstanta kesetimbangan standar (K_0) pada $T = 298\text{K}$ (25°C) dapat diketahui melalui perhitungan seperti berikut.

$$K_0 = \exp\left(\frac{\Delta G_r^\circ}{RT}\right)$$

$$K_0 = \exp\left(\frac{-55,40 \text{ kJ/mol K}}{(8,314 \text{ J/mol K})(298 \text{ K})}\right)$$

$$K_0 = 0,9779$$

Pada suhu tertentu, nilai konstanta kesetimbangan (K) ditetapkan melalui persamaan seperti berikut.

$$\ln \frac{K}{K_0} = -\frac{\Delta H_r}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{298 \text{ K}} \right)$$

Pada desain ini dipergunakan $T = 523\text{K}$ (250°C), dengan demikian nilai konstanta kesetimbangan pada desain ini dapat diperoleh melalui perhitungan seperti berikut,

$$\ln \frac{K}{0,9779} = -\frac{(-101,840 \text{ kJ/mol K})}{(8,314 \text{ J/mol K})} \left(\frac{1}{523 \text{ K}} - \frac{1}{298 \text{ K}} \right)$$

$$\ln \frac{K}{0,9779} = -17,68$$

$$\frac{K}{0,9779} = \exp(-17,68)$$

$$\frac{K}{0,9779} = 2,0897 \times 10^{-8}$$

$$K = 2,04 \times 10^{-8}$$

Derajat kesetimbangan pada reaksi pembentukan Isopropil benzene dari propilena dan benzena dapat diperoleh melalui persamaan seperti berikut.

$$K = \frac{y_{C_9H_{12}}}{y_{C_6H_6} \cdot y_{C_3H_6}} = \frac{\left(\frac{\varepsilon e}{2 - \varepsilon e}\right)}{\left(\frac{1 - \varepsilon e}{2 - \varepsilon e}\right)\left(\frac{1 - \varepsilon e}{2 - \varepsilon e}\right)}$$

$$2,04 \times 10^{-8} \cdot \varepsilon e^2 - 1,9259 \cdot \varepsilon e + 2,04 \times 10^{-8} = 0$$

Menurut persamaan kuadrat di atas, sehingga diperoleh akar-akar dari persamaan tersebut seperti berikut.

$$\varepsilon e_1 = 1,00$$

$$\varepsilon e_2 = 1,00$$

Berdasarkan nilai K yang telah diketahui yaitu $K = 2,04 \times 10^{-8}$ dan nilai εe yang diperoleh yaitu $\varepsilon e = 1,00$ maka reaksi alkilasi antara propilena dan benzena pada desain ini ialah reaksi satu arah (*irreversible*).

2.2.5 Tinjauan Kinetika

Berdasarkan persamaan Arrhenius, kinetika dapat diperoleh dengan mengetahui nilai k reaksi menurut persamaan berikut.

$$k = A \cdot e^{\frac{-E_a}{RT}}$$

dimana:

k = konstanta kecepatan reaksi

Ea = energi aktivasi

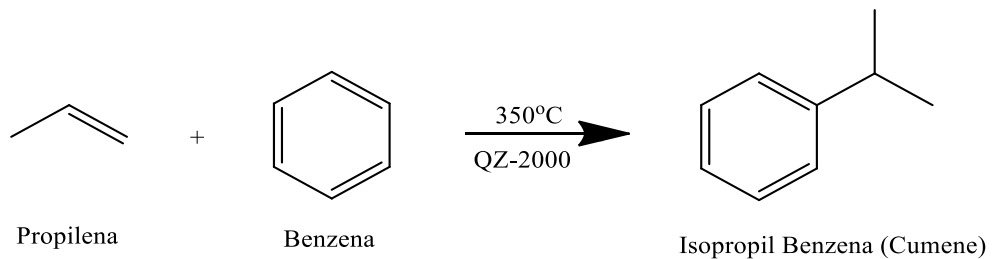
A = frekuensi tumbukan

T = suhu

R = konstanta gas ideal

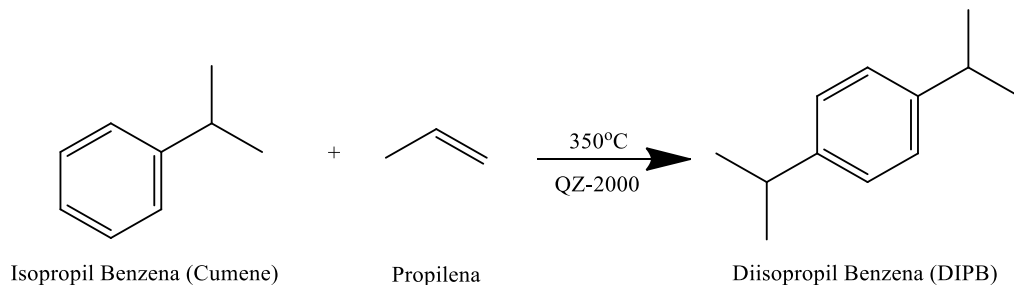
Pada desain ini, terdapat dua reaksi yang terlibat yaitu reaksi pembentukan Isopropil benzene dari propilena dan benzena juga reaksi pembentukan diisopropil benzene dari Isopropil benzene dan propilena dengan reaksi seperti berikut.

Reaksi 1:



Gambar 2. 17. Reaksi Pembentukan Isopropil Benzene dari Propilena dan Benzena

Reaksi 2:



Gambar 2. 18. Reaksi Pembentukan Diisopropil Benzene dari Isopropil Benzene dan Propilena

Berdasarkan Pathak et al. (2011), diperoleh persamaan laju reaksi untuk reaksi pembentukan Isopropil benzene (reaksi 1) dan pembentukan DIPB (reaksi 2) yaitu seperti berikut.

$$\text{Reaksi 1: } r_1 = k_1(C_{\text{propilena}})^{0,87}(C_{\text{benzena}})^{0,96}$$

$$\text{Reaksi 2: } r_2 = k_2(C_{\text{Isopropil benzene}})^{0,61}(C_{\text{propilena}})^{0,92}$$

Dengan demikian nilai konstanta reaksi dari masing-masing reaksi tersebut adalah seperti berikut.

$$k_1 = 6,981 \times 10^5 \exp\left(\frac{-63742}{RT}\right)$$

$$k_2 = 4 \times 10^4 \exp\left(\frac{-79162}{RT}\right)$$

2.3 Langkah Proses

2.3.1 Tahap Penyimpanan Bahan Baku

Propilena 99,60% (w/w) dan propane (sebagai *diluent*) 0,40% (w/w) dalam fase cair disimpan di dalam tangki silinder horizontal berbentuk *elliptical head* (T-01) pada suhu 30°C dan tekanan 14 atm, sedangkan benzena 99,90% (w/w) dan toluena 0,10% (w/w) dalam fase cair disimpan di dalam tangki silinder vertikal berbentuk *conical head* pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm.

Penyimpanan pada tekanan yang lebih tinggi untuk propilena memiliki tujuan untuk dapat mempertahankan fase propilena dalam fase cair maka dari itu dipergunakan tangki *elliptical head* yang kompatibel terhadap tekanan tinggi.

2.3.2 Tahap Preparasi Bahan Baku

Pada tahapan ini melibatkan preparasi bahan baku dengan mengubah fase bahan baku dari cair menjadi gas. Propilena dan propana dari tangki penyimpanan (T-01) dialirkan dengan pompa sentrifugal (P-01) untuk dinaikkan tekanannya dari 14 atm hingga 27,22 atm dan menuju *Propylene Vaporizer* (VP-01) untuk selanjutnya mengalami evaporasi dari suhu 30°C dan keluar dari VP-01 dalam fase gas jenuh bersuhu 75°C.

Benzena dan toluena dari tangki penyimpanan (T-02) kemudian dialirkan dengan pompa sentrifugal (P-02) untuk dinaikkan tekanannya dari 1 atm sampai dengan 27,22 atm dan menuju *Benzene Pre-Heater* (PH-01) untuk selanjutnya mengalami pemanasan dari suhu 30°C dan keluar dari PH-01 dengan suhu 75°C. Berikutnya umpan dilanjutkan ke dalam *Benzene Vaporizer* (VP-02) supaya selanjutnya mengalami evaporasi dari suhu 75°C dan keluar dari VP-02 dalam fase gas jenuh bersuhu 175°C.

Uap jenuh propilena dan propana dari *Propylene Vaporizer* (VP-01) dengan suhu 75°C serta uap jenuh benzena dan toluena dari *Benzene Vaporizer* (VP-02) dengan suhu 175°C, keduanya diumpankan ke dalam *Furnace* (F-01) untuk mengalami pemanasan dan keluar dari F-01 dengan suhu 250°C dan tekanan 27,22 atm.

2.3.3 Tahap Reaksi dan Pembentukan Produk

Campuran uap jenuh propilena dan propana, serta benzena dan toluena dengan suhu 250°C dan tekanan 27,22 atm dari *Furnace* (F-01) selanjutnya diumpankan ke dalam Reaktor Alkilasi (R-01) dengan jenis reaktor *Fixed Bed Multitube* pada bagian *tube* reaktor yang telah dilengkapi dengan katalis zeolit QZ-2000 dan cincin inert. Pada tahapan ini terjadi proses reaksi katalitik heterogen dari alkilasi propilena dengan benzena untuk membentuk Isopropil benzene, serta terjadi pula reaksi samping antara Isopropil benzene dengan propilena membentuk DIPB. Reaksi yang terjadi berlangsung pada keadaan *isothermal* dengan fase gas, hasilnya campuran gas keluar dari R-01 berada pada suhu 250°C dan tekanan 27,22 atm.

Campuran gas dari Reaktor Alkilasi (R-01) selanjutnya diumpankan ke dalam Reaktor Transalkilasi (R-02) bersama dengan uap DIPB jenuh dari *DIPB Vaporizer* (VP-03). Pada reaktor ini terjadi proses reaksi transalkilasi antara DIPB dengan kelebihan benzena untuk kembali membentuk Isopropil benzene, supaya dapat diperoleh *yield* Isopropil benzene yang lebih tinggi. Reaksi yang berlangsung pada R-02 berada dalam kondisi *isothermal*, akibatnya arus keluar dari R-02 akan keluar pada suhu 250°C dan tekanan 27,22 atm. Campuran gas dari R-02 yang terdiri dari benzena, toluena, propana, Isopropil benzene dan DIPB selanjutnya diumpankan ke *Cooler* (C-01) untuk mengurangi suhunya dari 250°C menjadi 125°C.

2.3.4 Tahap Pemurnian Produk

Campuran benzena, toluena, propana, Isopropil benzene dan DIPB dengan suhu 125°C dalam fase campuran cair dan gas selanjutnya diumpankan ke dalam *Flash Drum* (FD-01) untuk mengurangi tekanannya dari 27,22 atm menjadi 2 atm. Pada tahapan ini terjadi juga pemisahan antara propana dengan benzena, Isopropil benzene dan DIPB pada tekanan dan suhu tersebut, dimana propana dan sebagian kecil benzena akan berada dalam fase gas selanjutnya akan keluar dari aliran sebagai *stack gas*, sedangkan sebagian besar benzena, toluena, serta Isopropil benzene dan DIPB akan berada dalam fase cair dan kemudian keluar dari *Flash Drum* (FD-01) menuju *Benzene Column Pre-Heater* (PH-02).

Pada *Benzene Column Pre-Heater* (PH-02), campuran benzena, toluena, Isopropil benzene dan DIPB akan dipanaskan dari suhu 125°C hingga bersuhu 127,57°C. Selanjutnya campuran benzena, toluena, serta Isopropil benzene dan

DIPB dengan suhu 127,57°C dan tekanan 2 atm diumpangkan ke dalam *Benzene Column* (MD-01) melalui bagian atas MD-01 untuk mengalami proses destilasi, di mana di dalam alat tersebut sebagian besar benzena dan sebagian kecil toluena akan keluar dari bagian atas MD-01 pada suhu 104,69°C dan selanjutnya akan dikondensasi dengan *Benzene Column Condensor* (CN-01) hingga benzena dan toluena keluar dari CN-01 pada fase cair jenuh dengan suhu 50°C dan selanjutnya sebagian diumpangkan kembali ke MD-01 sebagai refluks, sedangkan sebagian lainnya diteruskan menuju Tangki Benzena Sisa (T-03). Sedangkan sebagian kecil benzena dan toluena, serta Isopropil benzene dan DIPB akan keluar dari bagian bawah MD-01 pada suhu 183,31°C untuk selanjutnya akan dipompakan menggunakan P-04 dan sebagian akan diumpangkan ke *Benzene Column Reboiler* (RB-01), sedangkan sebagian lainnya diteruskan menuju *Isopropil benzene Column* (MD-02).

Pada *Isopropil benzene Column* (MD-02) terjadi tahap proses pemisahan antara Isopropil benzene sebagai produk utama dan DIPB sebagai impuritas atau pengotor. Campuran dengan komposisi sebagian kecil benzena dan toluena, serta Isopropil benzene dan DIPB pada suhu 183,31°C dan tekanan 2 atm diumpangkan ke dalam *Isopropil benzene Column* (MD-02) melalui bagian atas MD-02, selanjutnya Isopropil benzene serta sebagian kecil benzena, toluene, dan DIPB akan keluar dari bagian atas MD-02 pada suhu 183,67°C dan selanjutnya akan dikondensasi dengan *Isopropil benzene Column Condensor* (CN-02) hingga campuran tersebut keluar dari CN-02 pada fase cair jenuh dengan suhu 50°C dan selanjutnya sebagian campuran tersebut diumpangkan kembali ke MD-02 sebagai refluks sementara sebagian lainnya diteruskan menuju Tangki Produk Isopropil benzene (T-04). Sedangkan DIPB dan sebagian kecil Isopropil benzene akan keluar dari bagian bawah MD-01 pada suhu 148,75°C selanjutnya dipompa oleh P-05 dan sebagian diumpangkan ke *Isopropil benzene Column Reboiler* (RB-02), sedangkan sebagian lainnya diteruskan ke *DIPB Vaporizer* dan keluar sebagai uap jenuh dengan suhu 250°C dan diumpangkan kembali menuju Reaktor Transalkilasi (R-02).

DIAGRAM ALIR (*FLWSHEET*) PRA-RANCANGAN PABRIK ISOPROPIL BENZENA DARI PROPILENA DAN BENZENA DENGAN PROSES ALKILASI-TRANSALKILASI BENZENA BERBASIS KATALIS H-ZEOLIT KAPASITAS 50.000 TON/TAHUN



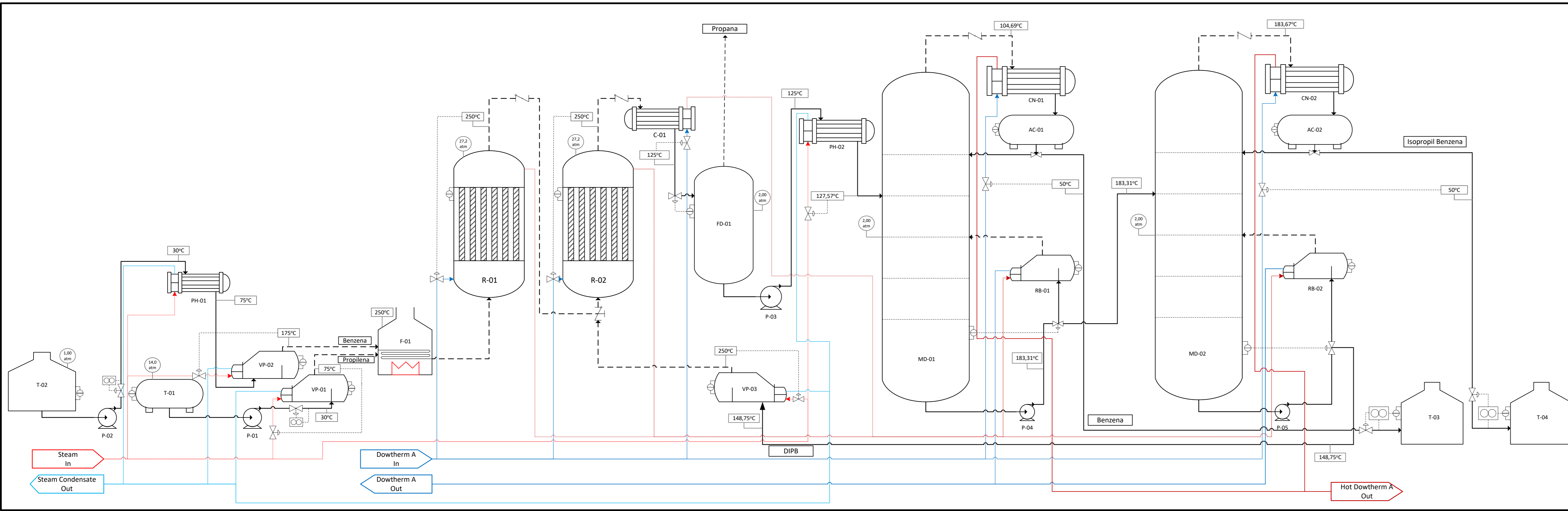
PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNOLOGI
REKAYASA KIMIA INDUSTRI
DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI
SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2024

DIAGRAM ALIR (*FLWSHEET*) PRA-RANCANGAN PABRIK ISOPROPIL BENZENA DARI PROPILENA DAN BENZENA DENGAN PROSES ALKILASI- TRANSALKILASI BENZENA BERBASIS KATALIS H-ZEOLIT KAPASITAS 50.000 TON/TAHUN

Disusun oleh	Renaldy Febriant Budiawan Istiqamah Harnama	(NIM. 40040120650013) (NIM. 40040120650058)
Dosen Pembimbing	Dr. Ir. Fahmi Arifan, S.T., M.Eng., IPM	(NIP. 198002202005011001)

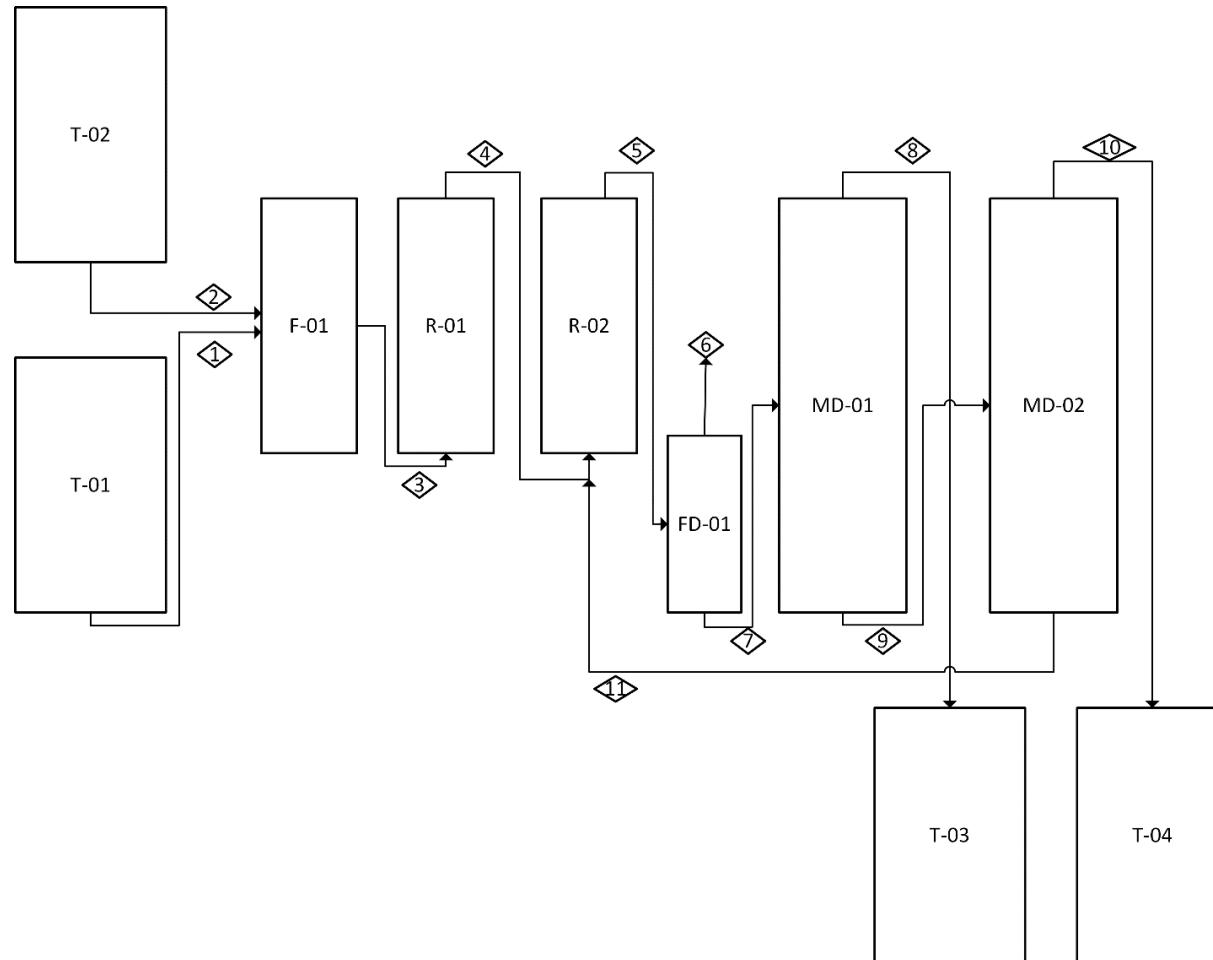
KETERANGAN:

- | | |
|--|---|
| <p>T-01 : Tangki Propilena
T-02 : Tangki Benzena
T-03 : Tangki Benzena Sisa
T-04 : Tangki Isopropil Benzena
PH-01 : Pre-Heater Benzena
PH-02 : Pre-Heater Kolom Benzena
VP-01 : Vaporizer Propilena
VP-02 : Vaporizer Benzena
VP-03 : Vaporizer DIPB Feedback
F-01 : Furnance
R-01 : Reaktor Alkilasi
R-02 : Reaktor Transalkilasi
C-01 : Cooler
FD-01 : Flash Drum
MD-01 : Menara Destilasi Benzena
MD-02 : Menara Destilasi Isopropil Benzena
RB-01 : Reboiler Menara Benzena
RB-02 : Reboiler Menara Isopropil Benzena
CN-01 : Kondensor Kolom Benzena
CN-02 : Kondensor Kolom Isopropil Benzena
AC-01 : Akumulator Benzena
AC-02 : Akumulator Isopropil Benzena
P-01 : Pompa Propilena Fresh
P-02 : Pompa Benzena Fresh
P-03 : Pompa PH-02
P-04 : Pompa RB-01
P-05 : Pompa RB-02</p> | <p>→ : Liquid Phase Material Flow
- - - - - : Gas Phase Material Flow
→ (blue) : Dowtherm A HTF Flow
→ (red dashed) : Dowtherm A Steam Flow
→ (red solid) : Hot Dowtherm A Flow
→ (red dashed) : Steam Flow
→ (blue dashed) : Steam Condensate Flow
○ : Pressure Control Instrument
□ : Temperature Control Instrument
○ (with line) : Level Control Instrument
□ (with line) : Flow Control Instrument</p> |
|--|---|



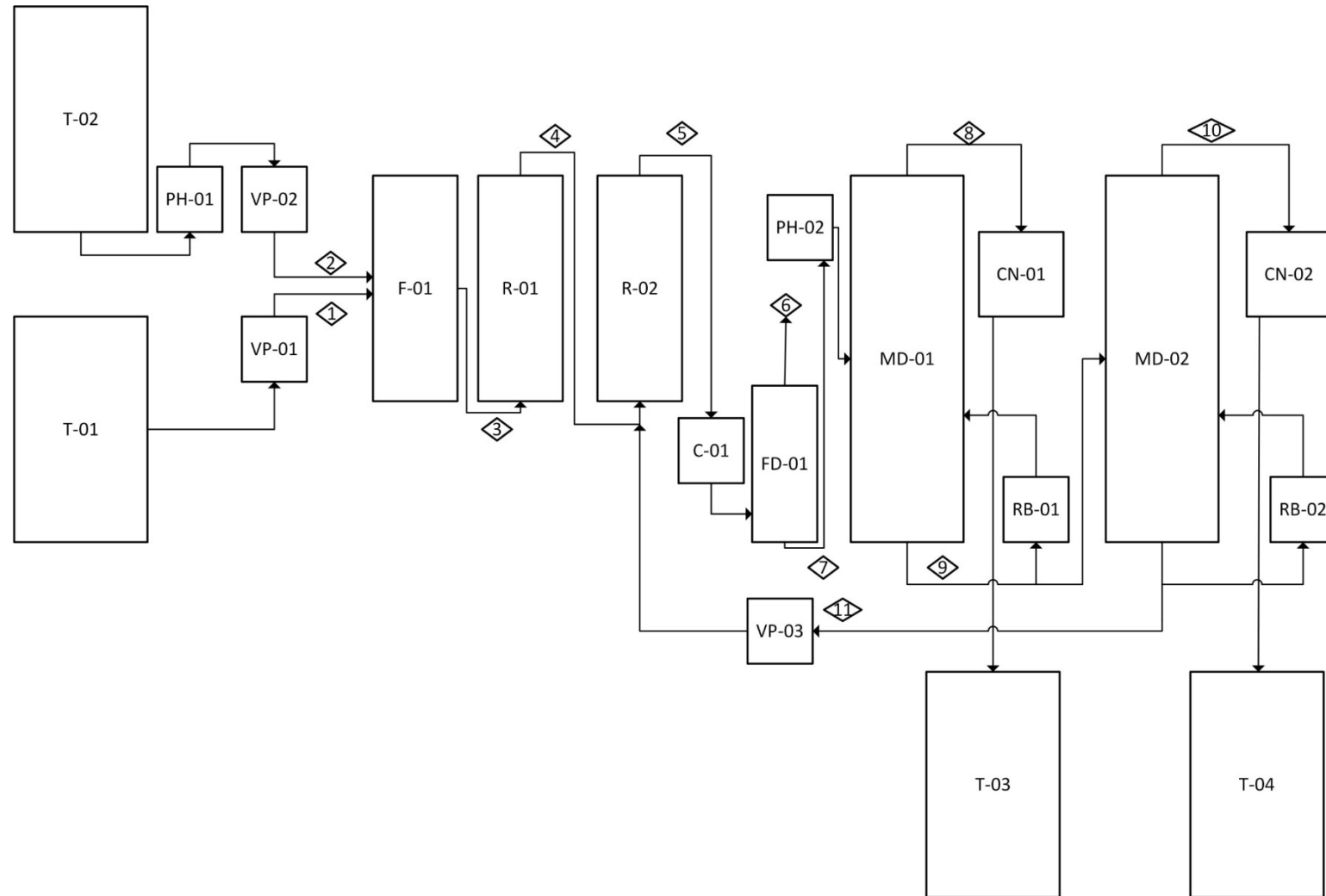
2.4 Diagram Alir

2.4.1 Diagram Alir Neraca Massa



Gambar 2. 19. Diagram alir neraca massa Pabrik Isopropil Benzena dengan kapasitas 50.000 ton/tahun

2.4.2 Diagram Alir Neraca Panas



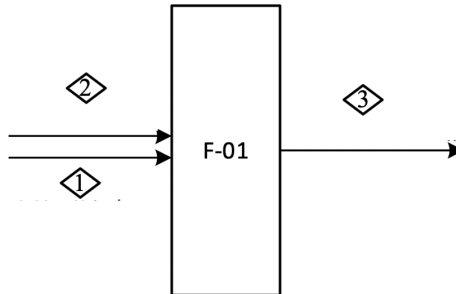
Gambar 2. 20. Diagram alir neraca panas Pabrik Isopropil Benzena dengan kapasitas 50.000 ton/tahun

2.5 Neraca Massa dan Neraca Panas

2.5.1 Neraca Massa

Berikut adalah ringkasan dari perhitungan neraca massa untuk Pra-Rancangan Pabrik Isopropil Benzene dengan kapasitas 50.000 ton/tahun dengan perhitungan lengkap tercantum pada lampiran A.

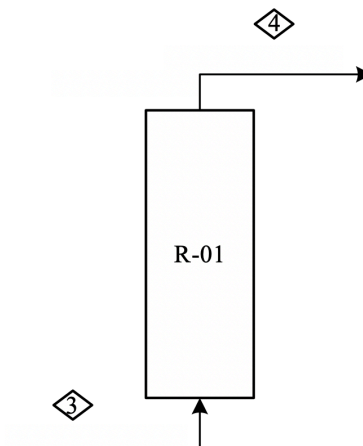
1. Neraca Massa *Furnace* (F-01)



Tabel 2. 7. Neraca Massa *Furnace* (F-01)

Komponen	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)
	Arus 1	Arus 2	Arus 3
Benzena		10.829,74	10.829,74
Toluena		10,84	10,84
Propilena	2.429,76		2.429,76
Propana	9,76		9,76
Sub-Total	2.439,52	10.840,58	13.280,10
Total	13.280,10		13.280,10

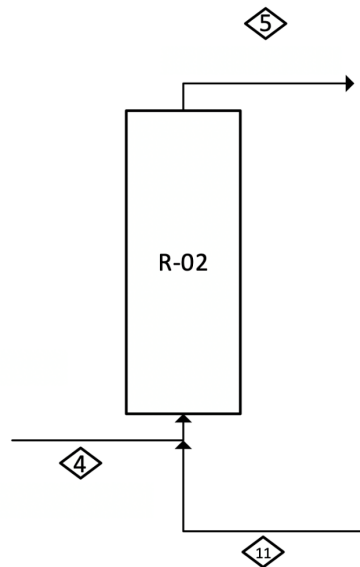
2. Neraca Massa Reaktor Alkilasi (R-01)



Tabel 2. 8. Neraca massa Reaktor Alkilasi (R-01)

Komponen	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)	
	Arus 3		Arus 4	
Benzena	10.829,74		8.123,63	
Toluena	10,84		10,84	
Propilena	2.429,76		969,13	
Propana	9,76		9,76	
Isopropil			4.156,05	
Benzene				
DIPB			10,68	
Sub-Total	13.280,10		13.280,10	
Total	13.280,10		13.280,10	

3. Neraca Massa Reaktor Transalkilasi (R-02)

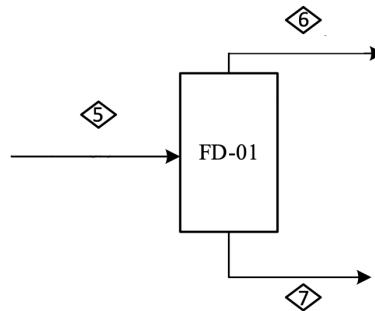


Tabel 2. 9. Neraca Massa Reaktor Transalkilasi (R-02)

Komponen	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)
	Arus 4	Arus 11	Arus 5
Benzena	8.123,63		6.324,69
Toluena	10,84		10,84
Propilena	969,13		
Propana	9,76		9,76

Isopropil	4.156,05	23,78	6.947,91
Benzene			
DIPB	10,68	42,19	52,87
Sub-Total	13.280,10	65,97	13.346,07
Total	13.346,07		13.346,07

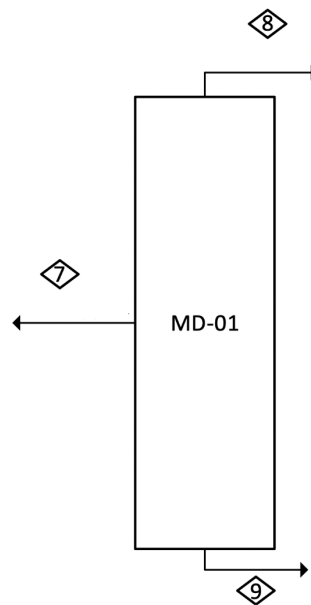
4. Neraca Massa *Flash Drum* (FD-01)



Tabel 2. 10 Neraca Massa *Flash Drum* (FD-01)

Komponen	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)	
	Arus 5	Arus 6	Arus 6	Arus 7
Benzena	6.324,69	6,32		6.318,37
Toluena	10,84			10,84
Propana	9,76	9,76		
Isopropil	6.947,91			6.947,91
Benzene				
DIPB	52,87			52,87
Sub-Total	13.346,07	16,08	16,08	13.329,99
Total	13.346,07		13.346,07	

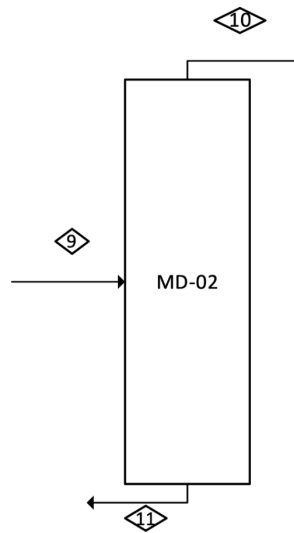
5. Neraca Massa Kolom Benzena (MD-01)



Tabel 2. 11. Neraca Massa Kolom Benzena (MD-01)

Komponen	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)	
	Arus 7	Arus 8	Arus 8	Arus 9
Benzena	6.318,37	6.318,37		
Toluena	10,84	10,84		
Isopropil	6.947,91			6.947,91
Benzene				
DIPB	52,87			52,87
Sub-Total	13.329,99	6.329,21	6.329,21	7.000,78
Total	13.329,99		13.329,99	

6. Neraca Massa Kolom Isopropil Benzene (MD-02)



Tabel 2. 12. Neraca Massa Kolom Isopropil Benzene (MD-02)

Komponen	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)	
	Arus 9	Arus 10	Arus 10	Arus 11
Isopropil	6.947,91	6.934,71		13,20
Benzene				
DIPB	52,87	0,10		52,77
Sub-Total	7.000,78	6.934,81		65,97
Total	7.000,78		7.000,78	

7. Neraca Massa Overall

Tabel 2. 13. Neraca massa *overall* Pabrik Isopropil Benzene dengan kapasitas 50.000 ton/ tahun (basis operasi: 1 jam)

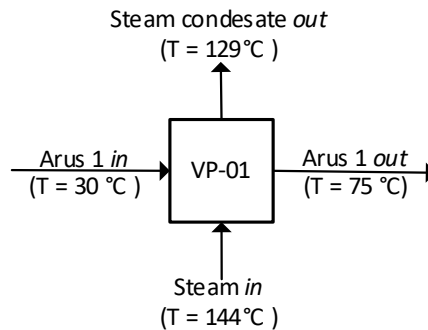
Alat	Komponen	Input (kg)	Output (kg)
Furnace	Propilena	2.429,76	-
	Propana	9,76	9,76
	Benzena	10.829,74	6.324,69
	Toluena	10,84	10,84
Kolom Isopropil Benzene	Isopropil	-	6.934,71
	Benzene		
Benzene	DIPB	-	0,10
Total		13.280,10	13.280,10

Presentase efisiensi = 99,61%

2.5.2 Neraca Panas

Berikut adalah ringkasan dari perhitungan neraca massa untuk Pra-Rancangan Pabrik Isopropil Benzena dengan kapasitas 50.000 ton/tahun dengan perhitungan lengkap tercantum pada lampiran A.

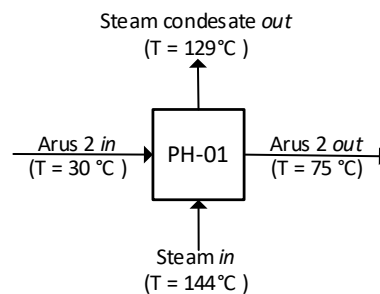
1. Neraca Panas *Propylene Vaporizer* (VP-01)



Tabel 2. 14. Neraca panas *Propylene Vaporizer* (VP-01)

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)
	Arus 1	Arus 1
Propilena	544715379.5	556776719.3
Propana	7543.984646	7748.586687
Q steam	24123088.93	-
Total	568846012.4	568846012.4

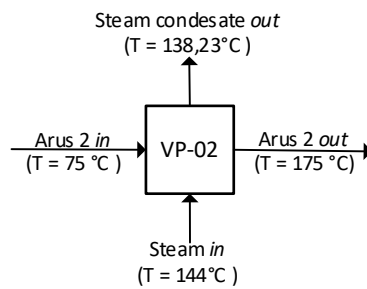
2. Neraca Panas Benzene Pre-Heater (PH-01)



Tabel 2. 15. Neraca Panas *Benzene Pre-Heater* (PH-01)

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)
	Arus 1	Arus 1
Benzena	40484012,37	100312860,44
Toluena	33,19	81,75
Q steam	200625884.38	-
Total	241109929.94	241109929.94

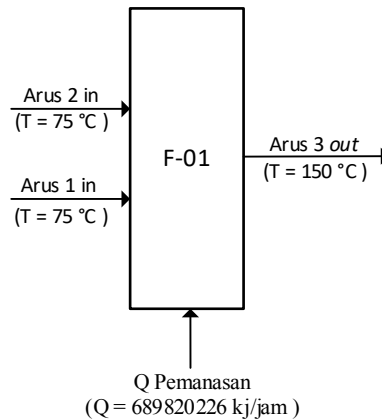
3. Neraca Panas Benzene Vaporizer (VP-02)



Tabel 2. 16. Neraca Panas *Benzene Vaporizer* (VP-02)

Komponen	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)	
	Arus 2		Arus 2	
Benzena	241109733,3		223153999,9	
Toluena	196,6844957		207,7122517	
Q steam	345995473,1		-	
Total	587105403,1		587105403,1	

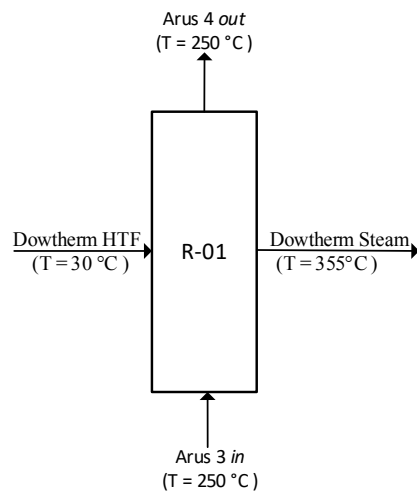
4. Neraca Panas Furnace (F-01)



Tabel 2. 17. Neraca Panas *Furnace* (F-01)

Komponen	Input (kJ/jam)		Output (kJ/jam)	
	Arus 1	Arus 2	Arus 3	
Benzene	-	363950872,8	333441170,3	
Toluene	-	322,6477388	291,0427837	
Propilena	12061339,87	-	61262086,09	
Propana	204,6020407	-	1055,607555	
Q Pemanasan	712658933,7		-	
Total	1088671674		1088671674	

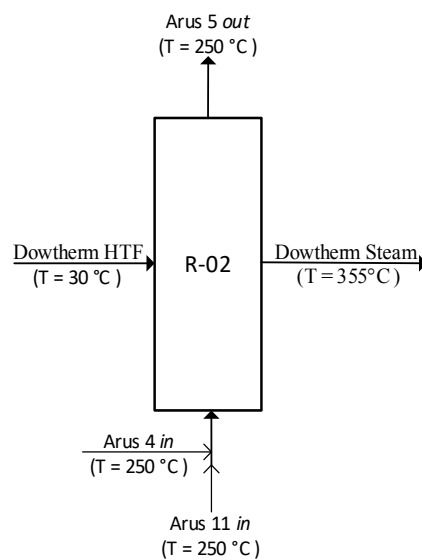
5. Neraca Panas Reaktor Alkilasi (R-01)



Tabel 2. 18. Neraca Panas Reaktor Alkilasi (R-01)

Komponen	Neraca Panas (kg/jam)	
	Arus 3	Arus 4
Isopropil Benzena	-	66408682,1
DIPB	-	269,563868
Benzena	954083006	116457151
Toluene	839,53297	548,490182
Propilena	134585512	11637369,4
Propana	2315,8172	1260,2096
Q diserap Dowtherm	-	467213975
Total	1089059702	1089059702

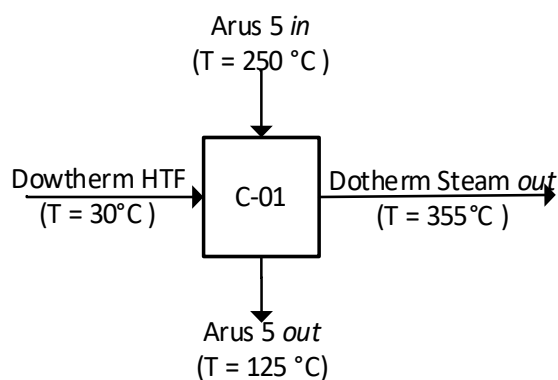
6. Neraca Panas Reaktor (R-02)



Tabel 2. 19. Neraca Panas Reaktor Transalkilasi (R-02)

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)	
	Arus 4	Arus 11	Arus 5
Isopropil	132858851	1791229,57	185712758
Benzena			
DIPB	618,10215	34,356699	8539,55315
Benzena	465682079	60217323,2	211682166
Toluena	548,49018	-	548,490182
Propilena	4437,1331	-	-
Propana	1260,2096		1260,2096
Q diserap Dowtherm	-		162482935
Total	621896794		621896794

7. Neraca Panas Cooler (C-01)

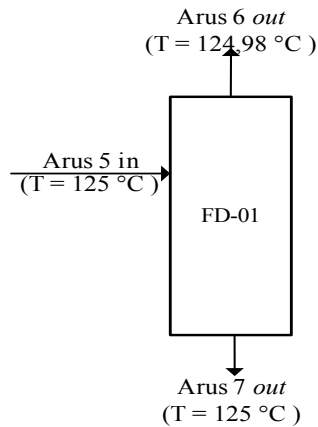


Tabel 2. 20. Neraca Panas Cooler (C-01)

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)
	Arus 5	Arus 5
Isopropil Benzena	187503987,3	180674606,7
DIPB	8573,909847	8024,466894
Benzena	271899489,3	230108432,9
Toluene	548,4901818	549,2623767
Propana	1260,209595	1010,808315

Q diserap air pendingin	-	72086418,28
Total	482879042,4	482879042,4

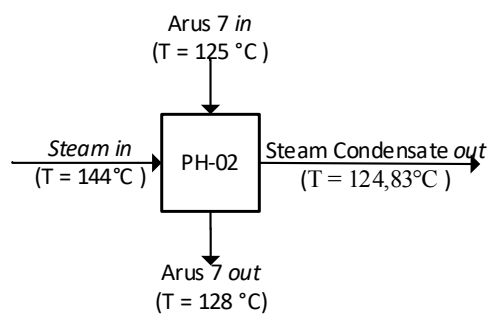
8. Neraca Panas Flash Drum (FD-01)



Tabel 2. 21. Neraca Panas *Flash Drum* (FD-01)

Komponen	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)	
	Arus 5	Arus 6	Arus 6	Arus 7
Isopropil	76782922,25	-	-	76782922,5
Benzena				
DIPB	3410,230297	-	-	3410,230297
Benzena	97791262,64	70,3902422	70,3902422	97595777,91
Toluena	233,4250017	-	-	233,4250017
Propana	429,5723549	429,5723549	-	-
Panas lepas	-	-	168013	-
Total	174578258	-	-	174578258

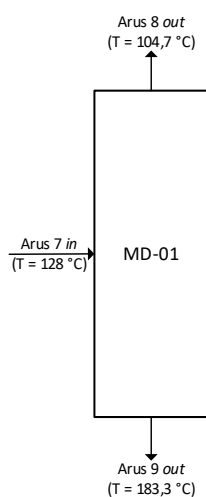
9. Neraca Panas Benzene Column Pre-Heater (PH-02)



Tabel 2. 22. Neraca Panas Benzene Column Pre-Heater (PH-02)

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)
	Arus 7	Arus 7
Isopropil Benzena	76782922,25	81258728,8
DIPB	3410,230297	3611,035523
Benzena	97595777,91	103447551,2
Toluene	233,4250017	247,3211578
Q Pemanas (steam)	20655589,13	-
Total	195037932,9	195037932,9

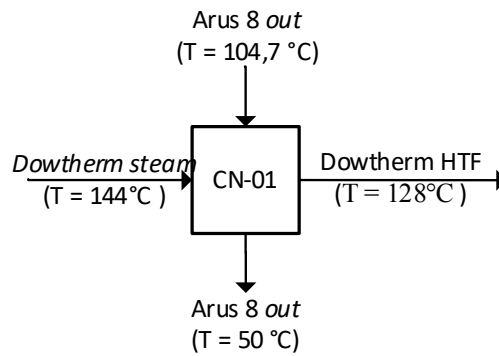
10. Neraca Panas Menara Distilasi Benzena (MD-01)



Tabel 2. 23. Neraca Panas Menara Distilasi Benzena (MD-01)

Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)	
	Arus 7	Arus 8	Arus 9
Isopropil benzena	42714437,8	-	139131076,7
DIPB	1267,874594	-	6210,768614
Benzena	-21249433,52	23245241,41	-
Toluena	118,8397471	64617800,12	-
QRB (RB-01)	284823994,6	-	-
QC (CN-01)		121361071,59	
Q diserap air pendingin		79290056,6	
Total	306290385,61	306290385,61	

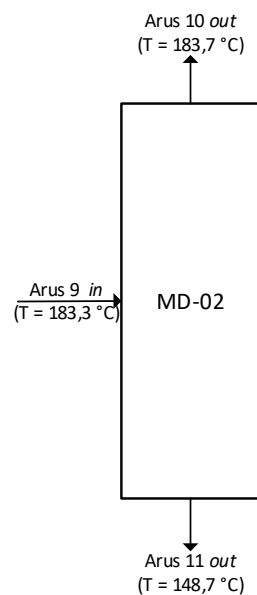
11. Neraca Panas Kondensor Benzena (CN-01)



Tabel 2. 24 Neraca Panas Kondensor Benzena (CN-01)

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)
	Arus 8	Arus 8
Isopropil Benzena	-	-
DIPB	-	-
Benzena	56742942,17	64617800,12
Toluene	170,8162051	$7,95 \times 10^{-6}$
QT Kondensor CN-01	121361071,6	-
Q diserap air pendingin	-	113486233,53
Total	178104188,4	178104188,4

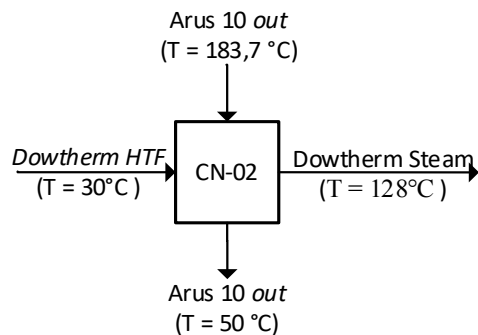
12. Neraca Panas Menara Distilasi (MD-02)



Tabel 2. 25 Neraca Panas Menara Distilasi Isopropil Benzena

Komponen	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)	
	Arus 9	Arus 10	Arus 10	Arus 11
Isopropil Benzena	65929397,91	18548844,6	522,0254126	
		1		
DIPB	1956,954438	0,00295019	3264,368539	
		2		
Benzena	0.00	0.00	0.00	
Toluena	0.00	0.00	0.00	
QRB (RB-02)	226967380,18	-	-	
QC (CN-02)	-	159657232,40		
Q diserap air pendingin	-	114688871,6		
Total	292898735	292898735		

13. Neraca Panas Kondensor Isopropil Benzena (CN-02)



Tabel 2. 26. Neraca Panas Kondensor Isopropil Benzena (CN-02)

Komponen	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)	
	Arus 10	Arus 10	Arus 10	Arus 10
Isopropil Benzena	0.00		0.00	
DIPB	0.00		0.00	
Benzena	226,1042728		49,17719097	
Toluene	133237369,4		26419583,07	
QT Kondensor CN-02	159657232,3982		-	
Q diserap air pendingin	-		266475200,3	
Total	292894832,5		292894832,5	

14. Neraca Panas Overall

Basis operasi: 1 jam

Tabel 2. 27. Neraca Panas Overall Pabrik Isopropil Benzena dengan kapasitas 50.000 ton/tahun

Alat	Komponen	Input (kJ)	Output (kJ)
Furnace	Propilena	544715379,48	-
	Propana	7543,98	429,57
	Benzena	40484012,37	23245241,41
	Toluena	33,19	-
Kolom Isopropil	Isopropil Benzena	-	18548844,61
Benzena	DIPB	-	-
Reaktor Alkilasi	Q Reaksi Alkilasi	388028,3362	
Reaktor Transalkilasi	Q Reaksi Transalkilasi	7613,95	
Pre-Heater	Q Pemanasan	221281473,51	-
Vaporizer		370133051,8	
Furnace		712658933,7	
Reboiler		511791374,78	
Reaktor	Q Pendinginan	-	72086418,28
Cooler		-	733597594,49
Kondensor		-	629696909,68
	Q panas lepas		831269853,32
TOTAL		2401488795	2401488795

Presentase Efisiensi = 91,35%

Presentase Heat Loss = 8,65%

2.6 Tata Letak Pabrik dan Pemetaan

Tata letak pabrik adalah representasi letak dari bagian-bagian pabrik dalam kaitannya satu sama lain yang terdiri atas beberapa area seperti tempat karyawan bekerja, lokasi peralatan, tempat penyimpanan bahan baku dan juga produk. Secara umum, tata letak pabrik dibagi menjadi beberapa area utama, yaitu:

- i. Daerah Administrasi atau Perkantoran

Daerah administrasi atau perkantoran ialah area pusat kegiatan pengelolaan pabrik untuk mengatur kelancaran operasional dan kegiatan lainnya. Area ini berlokasi pada bagian depan pabrik yang terletak jauh dari area proses yang berbahaya agar kegiatan administrasi tidak mengganggu aktivitas dan keamanan pabrik.
- ii. Daerah Proses

Daerah proses ialah area dimana peralatan proses berada dan proses produksi berlangsung. Lokasi yang tepat untuk area ini adalah terletak pada bagian tengah pabrik. Lokasi aliran proses dirancang untuk memudahkan aliran bahan baku dari tangki penyimpanan dan pengiriman produk ke area penyimpanan, dan juga untuk memudahkan pemantauan dan pemeliharaan alat-alat proses.
- iii. Daerah Laboratorium dan Ruang Kontrol

Daerah laboratorium dan ruang kontrol ialah area dimana terpusatnya pengendalian proses, kualitas, dan kuantitas bahan yang diolah serta produk yang nantinya akan dijual. Daerah laboratorium ialah area pusat pengendalian mutu bahan baku, produk, dan limbah proses, sedangkan daerah ruang kontrol ialah area pusat pengendalian proses yang diinginkan.
- iv. Daerah Fasilitas Umum

Daerah fasilitas umum yang memadai, seperti tempat parkir, tempat ibadah, kantin, MCK, dan pos keamanan yang diperlukan untuk menunjang kinerja para pegawai.
- v. Daerah Utilitas

Daerah utilitas ialah area tempat penyediaan air, *steam*, listrik, bahan bakar, dan udara tekan. Area ini memiliki lokasi yang berdekatan dengan lokasi proses sehingga sistem perpipaan akan lebih ekonomis. Potensi bahaya yang ditimbulkan dari area proses cukup tinggi. Sehingga, jarak antara area utilitas dan area proses tetap harus diatur untuk menurunkan efek potensi bahaya yang nantinya akan ditimbulkan.
- vi. Daerah Pemeliharaan

Daerah pemeliharaan ialah area yang tidak hanya digunakan sebagai tempat menyimpan suku cadang untuk alat proses, tetapi juga untuk tempat perbaikan, pemeliharaan, maupun perawatan seluruh peralatan yang digunakan pada saat proses produksi.

vii. Daerah Penyimpanan Bahan Baku dan Produk

Daerah penyimpanan bahan baku dan produk ialah area yang terdiri atas tangki penyimpanan bahan baku dan produk yang berlokasi pada area terbuka dan terjangkau oleh angkutan pembawa bahan baku maupun produk. Area ini berlokasi dekat dengan area proses produksi sehingga penyediaan bahan baku proses serta penyimpanan produk menjadi lebih mudah dan juga efisien.

viii. Daerah Pengolahan Limbah

Daerah pengolahan limbah ialah area yang diperuntukan sebagai tempat akhir pembuangan serta pengolahan limbah yang berasal dari proses produksi, seperti limbah cair dan padat yang dihasilkan dari aktivitas laboratorium.

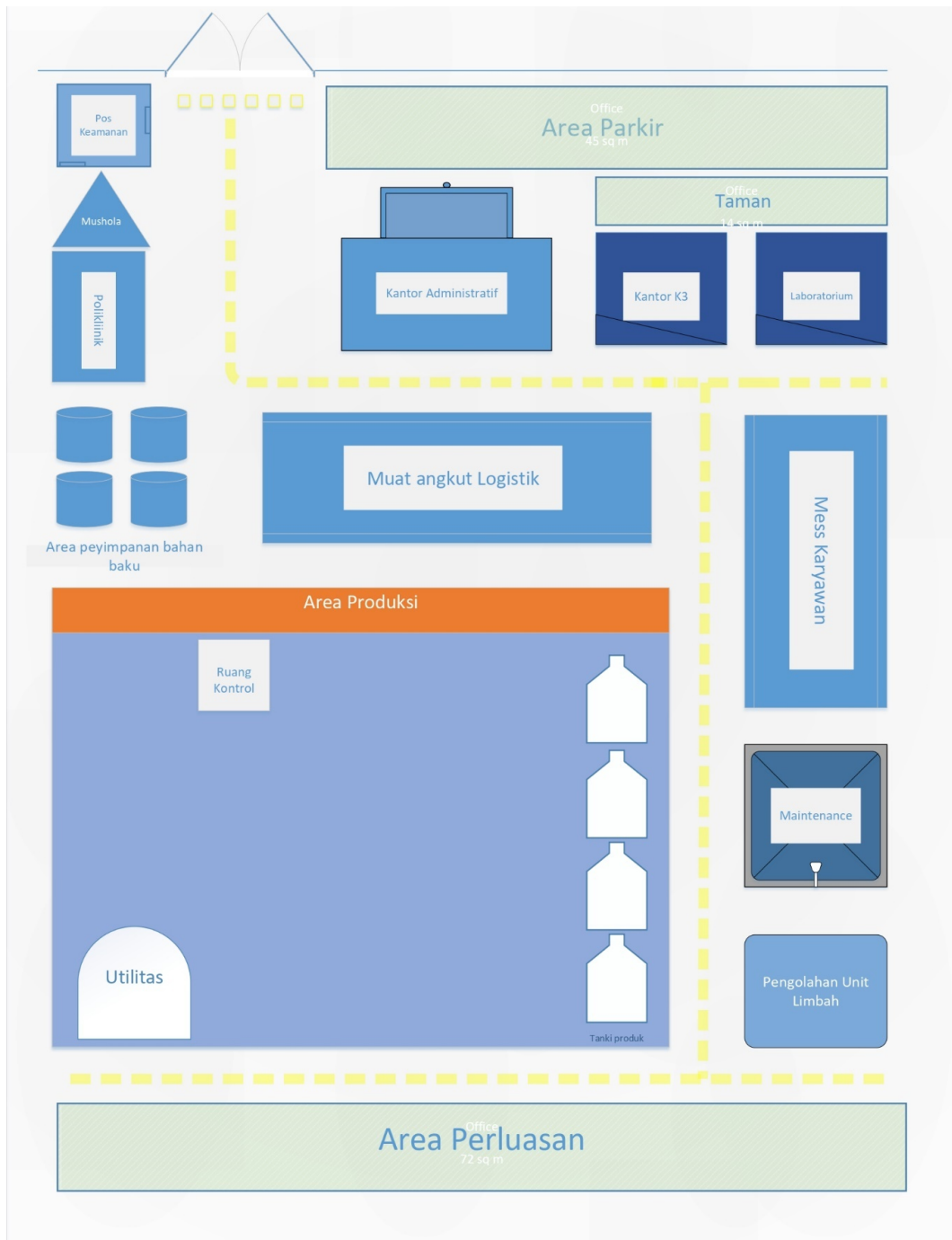
Adapun perincian luas tanah yang akan digunakan area-area tersebut sebagai bangunan pabrik dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. 28. Luas tanah yang digunakan dalam pembangunan Pabrik Isopropil Benzene dengan kapasitas 50.000 ton/tahun

No.	Nama Bangunan	Luas (m ²)
1.	Pos Keamanan	25
2.	Parkir	300
3.	Taman	23
4.	Mushola	50
5.	Kantor Administrasi	450
6.	Klinik	50
7.	K3	25
8.	Laboratorium	250
9.	<i>Maintenance</i>	250
10.	Utilitas	500
11.	Gudang Bahan Baku	100
12.	Tangki Produk	1.366
13.	Tangki Bahan Baku	1.548
14.	Muat Angkut Logistik	300
15.	Area Produksi	10.534
16.	Ruang Kontrol	240
17.	Mess Karyawan	275

18. Pengelolaan Unit Limbah	700
19. Jalan Pabrik	240
20. Area Perluasan	950
Total	18.178

LAY OUT PABRIK ISOPROPIL BENZENE



Gambar 2. 21. Layout Pabrik Isopropil Benzene dengan kapasitas 50.000 ton/tahun

berjalan dengan lancar dan aman sehingga dapat menghasilkan keuntungan dari segi ekonomi.

f. Jarak antar alat proses

Alat proses dengan tekanan dan suhu operasi yang tinggi sebaiknya diletakkan jauh dari alat proses yang lain dengan jarak sekitar 3 - 4 meter. Hal ini dilakukan untuk mencegah kerusakan ketika terjadi ledakan maupun kebakaran.