

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan dan pertumbuhan industri merupakan bagian dari usaha pembangunan ekonomi jangka panjang yang ditujukan untuk menciptakan struktur ekonomi yang kokoh dan berkembang, yaitu struktur yang memiliki industri maju serta di dukung dengan sektor pertanian yang tangguh. Pada tahun 2009 Indonesia telah memasuki era globalisasi yaitu dengan adanya perdagangan bebas. Dengan adanya era globalisasi ini kita dibuat untuk lebih efektif dan efisien dalam melakukan inovasi – inovasi terbaru sehingga produk yang dihasilkan memiliki harga pasar yang tinggi, daya saing, efektif dan efisien dan juga ramah terhadap lingkungan.

Salah satu jenis industri kimia yang sangat besar pengaruhnya terhadap industri kimia lainnya di Indonesia adalah xylene, dimana xylene ini memiliki 3 kemungkinan isomer lainnya yakni dengan sebutan orto-xylene, meta- xylene, dan para-xylene. Yang membedakan mereka adalah dimana atom karbon dari cincin benzene dua gugus metil tersebut dipasang. Isomer orto-xylene memiliki nama IUPAC 1,2-dimetilbenzene, isomer meta-xylene memiliki nama IUPAC 1,3-dimetilbenzene dan isomer para-xylene memiliki nama IUPAC 1,4-dimetilbenzene.

Isomer orto-xylene memiliki kegunaan dalam industri sebagai bahan baku pembuatan phthalic acid yaitu sebagai plasticizer dalam vinil klorida. Isomer m-xylene digunakan untuk memproduksi bahan baku isophthalic acid yaitu produksi resin polietilen tereftalat (PET) dan untuk produksi resin poliester tak jenuh (UPR) dan jenis resin pelapis lainnya.. Serta isomer para-xylene digunakan untuk memproduksi bahan baku terephthalic acid dan merupakan salah satu isomer xylene yang paling penting. (J. Sheehan, 2011)

Para-xylene adalah sebagian besar diarahkan ke produksi berbagai serat, film, dan resin. Para-xylene adalah perantara utama di sintesis asam tetraphthalic murni (PTA) dan dimetil tereftalat (DMT), keduanya digunakan dalam produksi plastik industri dan poliester. Secara khusus, PTA digunakan dalam produksi resin botol polietilen tereftalat

(PET). Relatif lebih kecil jumlah para-xylene digunakan sebagai pelarut. (Abdikhanghah, Alrashed, Hamoule, Behbahani, & Goodarzi, 2019)

Selain paraxlene, pabrik ini juga memproduksi Trimethyl benzene reaksi samping dari proses alkylation toluene yang digunakan sebagai plasticizer, bahan bakar jet dan lain-lain.

Disamping bahan-bahan tersebut diatas masih banyak lagi kegunaan paraxylene. Namun saat ini ternyata paraxylene masih merupakan bahan impor dari luar negeri. Sehingga dengan berdirinya pabrik ini diharapkan dapat memenuhi kebutuhan paraxylene di Indonesia.

Saat ini, hanya terdapat dua produsen paraxylene di Indonesia yaitu PT. Trans Pacific Petrochemical Indotama (kapasitas 550.000 ton/tahun dan PT. Pertamina (kapasitas 270.000 ton/tahun), sehingga diperoleh total kapasitas pabrik paraxylene di Indonesia hanya 820.000 ton/tahun (Badan Pusat Statistik, 2016). Sedangkan kebutuhan akan paraxylene di Indonesia sendiri juga meningkat setiap tahunnya. Hal itu dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 1-1 Daftar Perusahaan dengan Bahan Baku Paraxylene pada Tahun 2018

Produk	Perusahaan	Kapasitas produksi (ton/tahun)
PTA	Amoco Mitsui PTA	525.000
	Bakrie Kasei Corp	700.000
	Pertamina	350.000
	Polysindo Eka Perkasa	420.000
PET	Bakrie Kasei Corp	58.000
Resin	Indorama	79.000
	Petnesia Resindo	84.000
	Polypet Karyapersada	55.000

1.2 Maksud dan Tujuan

1.2.1 Maksud

Berdasarkan data tersebut, maka pabrik yang beroperasi saat ini belum mampu memenuhi kebutuhan paraxylene di Indonesia. Oleh karena itu, perlu didirikan pabrik paraxylene dengan kapasitas yang cukup besar.

Diharapkan dengan berdirinya pabrik paraxylene dapat mengurangi kapasitas impor yang terjadi.

1.2.2 Tujuan

Selain per-timbangan diatas, pendirian pabrik ini juga didasarkan pada hal-hal berikut :

1. Mengurangi ketergantungan pada Negara asing
2. Menciptakan lapangan kerja baru, dalam hal ini juga mengurangi jumlah pengangguran.
3. Memacu pertumbuhan-pertumbuhan industri baru yang menggunakan bahan baku paraxylene..
4. Meningkatkan lapangan pendapatan Negara dari sektor industri, serta menghemat devisa Negara.
5. Meningkatkan kualitas sumber daya manusia Indonesia lewat alih teknologi.

1.3 Penentuan kapasitas pabrik

Dalam penentuan kapasitas rancangan pabrik yang akan didirikan ada beberapa pertimbangan, diantaranya :

1. Produksi *Paraxylene* di Indonesia

Saat ini, kapasitas produksi *paraxylene* dalam negeri masih mencapai 820.000 ton/tahun sementara pada 2023 diperkirakan kebutuhan *paraxylene* mencapai 2juta ton/tahun dan akan terus meningkat setiap tahunnya.

2. Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku metanol didapat dari PT. Medco Metanol bunyu, sedangkan untuk produsen *toluene* di Indonesia dapat dilihat pada Tabel berikut.

Kapasitas produksi *toluene* dalam negeri sangat sedikit yang berasal dari PT. Trans Pacific Petrochemical dan PT. Pertamina IV Cilacap. Untuk itu, kapasitas produksi pun disesuaikan dengan jumlah *toluene* yang tersedia di dalam negeri karena kebutuhan *toluene* diperoleh seluruhnya dari dalam negeri.

Tabel 1-2 Produsen Toluene Dalam Negeri

Nama Perusahaan	Kapasitas (ton/tahun)
PT. Trans Pacific Petrochemical Indonesia	300.000
PT. Pertamina IV Cilacap	12.000
Total	312.000

Pabrik paraxylene ini direncanakan didirikan pada tahun 2023 Penentuan kapasitas produksi pabrik perlu memperhatikan beberapa faktor yaitu:

1.3.1 Kebutuhan Produk

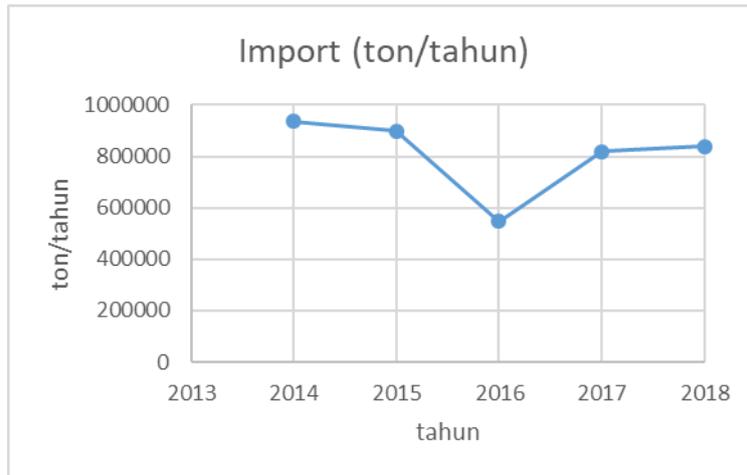
Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik Indonesia didapatkan hasil banyaknya import produk *paraxylene* pada tahun 2018 adalah 839.241 ton/tahun.

Tabel 1-3 Import paraxylene

Tahun	Import (ton/tahun)
2014	935.987
2015	899.202
2016	547.800
2017	820.234
2018	839.241

(sumber bps.go.id)

Dalam kurun waktu 5 tahun terakhir terdapat kenaikan dan juga penurunan import *paraxylene* dalam negeri. Hal ini menunjukkan bahwa kebutuhan *paraxylene* dalam negeri masih tinggi walaupun tetap ada penurunan drastis di tahun 2016, tetapi pada tahun sesudahnya bertahap naik.



Grafik 1-1 Import paraxylene (sumber bps.go.id)

Tabel 1-4 Kapasitas Pabrik Produsen Paraxylene

Nama Perusahaan	Negara	Kapasitas (Ton/Tahun)
PT Pertamina	Indonesia	270.000
PT TPPI	Indonesia	550.000
Chevron Philips Chemical	USA	454.000
El Paso	Kanada	330.000
Pamex	Meksiko	280.000
Sabic-Shell	Arab Saudi	520.000
Idemitsu Petrochemical	Jepang	465.000
Mitsubishi Oil	Jepang	370.000
Samsung General Chemical	Korea	530.000
Petronas	Malaysia	350.000
Formoca Chemical & Fiber Corp	Taiwan	450.000
Thai Aromatics	Thailand	520.000

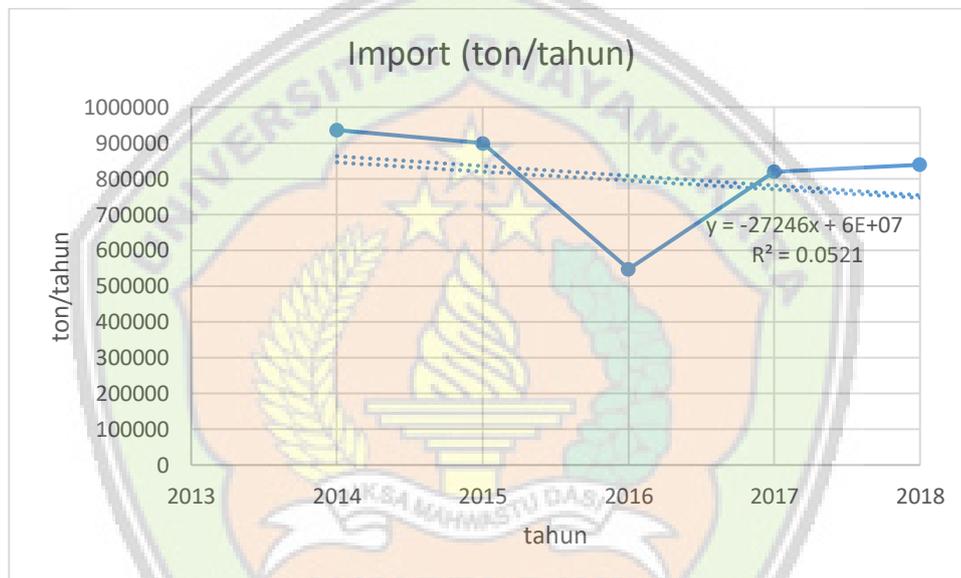
(Zagita & Adiwijaya, 2016)

Berdasarkan dari kapasitas - kapasitas pabrik yang sudah ada di dalam negeri

seperti yang ditunjukkan pada table 1.3 , diasumsikan bahwa sampai dengan tahun 2023 tidak ada pabrik *paraxylene* baru yang berdiri di dalam negeri, maka jumlah produksi *paraxylene* di Indonesia pada tahun 2023 sebesar 820.000 ton/tahun yaitu PT. Trans Pacific Petrochemical Indotama (kapasitas 550.000 ton/tahun dan PT. Pertamina (kapasitas 270.000 ton/tahun).

1.3.2 Perhitungan Kapasitas Produksi

Perhitungan kapasitas pabrik dilakukan dengan metode Least Square $y = bx + a$ maka dapat diperkirakan kebutuhan impor *paraxylene* (ton/tahun) sebagai berikut :



Grafik 1-2 Proyeksi kebutuhan impor *paraxylene* (ton/tahun)

Kenaikan harga dianggap linier : $y = bx + a$

Sehingga diperoleh persamaan

$$y = -27246x + 6.10^7$$

Pada tahun 2023 :

$$y = -27246x + 6.10^7$$

$$y = -27246(2023) + 6.10^7$$

$$y = 4.881.342 \text{ ton/tahun}$$

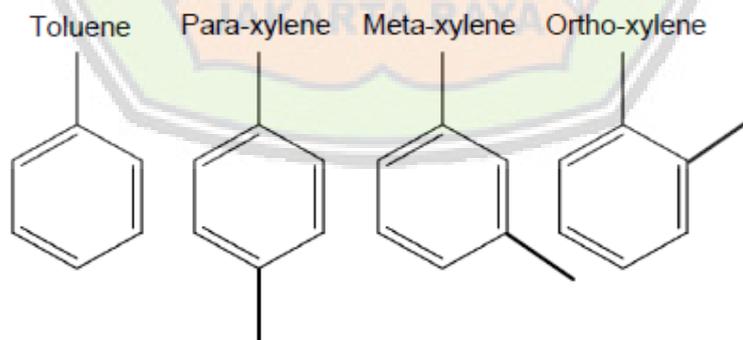
Pada hasil proyeksi *import* tahun 2023 diperoleh 4.884.615 ton/tahun dan data proyeksi tersebut ditotalkan dengan jumlah kapasitas produksi yang ada di dalam negeri, diperoleh sekitar 1825512 ton/tahun sebagai data pasokan (*supplay*). Asumsi bahwa data pasokan (*supplay*) tersebut hanya untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Pada kondisi tersebut peluang kapasitas produksi dari pabrik yang akan didirikan merupakan *substitusi import*. Berdasarkan kebutuhan tersebut maka diambil peluang kapasitas pabrik sebesar 4,6% dari nilai *import* atau sebesar 225.000 ton/tahun.

Berdasarkan pernyataan diatas, kapasitas pabrik *paraxylene* yang akan dirancang dipilih sebesar 225.000 ton/tahun. Di asumsikan dengan kapasitas tersebut sudah ,mendapatkan keuntungan yang cukup besar.

1.3.3 Tinjauan Pustaka

1. Paraxylene

Para-xylene adalah hidrokarbon aromatik yang mudah terbakar dan tidak berwarna dan beracun. Seperti yang terlihat pada Gambar dibawah ini bahwa paraxylene merupakan campuran gugus aromatik yang terdiri dari 3 isomer yang terdiri dari orto, meta-, dan para. Isomer dari dimethyl benzene, di mana awalan orto, meta, dan para- mengacu pada karbon mana atom pada cincin benzena dua kelompok metil terpasang.



Gambar 1-1 3 Gugus Fungsi Toluene dan 3 Isomer Xylene

Diantara ketiga isomer tersebut yang paling penting peranannya adalah para-xylene yang sebagian besar diarahkan ke produksi berbagai serat, film, dan resin. Para-xylene adalah perantara utama di sintesis asam tetraphthalic murni (PTA) dan dimetil tereftalat (DMT), keduanya digunakan dalam produksi plastik industri dan poliester. Secara khusus, PTA digunakan dalam produksi resin botol polietilen tereftalat (PET). Relatif lebih kecil jumlah para-xylene digunakan sebagai pelarut.

Sedangkan jika dikehendaki juga dapat diambil metaxylene dan orto-xylene sebagai hasil samping, dimana kegunaan dari kedua isomer diatas adalah sebagai berikut.

2. Orto-xylene

Bahan ini dapat digunakan sebagai bahan baku pthalic acid (PA). Jika dikonversi lebih lanjut maka bisa ubah menjadi alkyl resin dan polyester resin yang digunakan untuk industry cat, coating serta pembuatan dioctyl phthalate (DOP) yang berfungsi sebagai plasticizer. Plasticizer dapat digunakan kembali pada industry kabel, plastik, resin dan sebagainya.

3. Metaxylene

Bahan ini dapat digunakan sebagai bahan baku isophthalic acid. Jika dikonversi maka dapat menjadi alkyl resin dan polyester resin, serta digunakan untuk isophthalonytril.

Tabel 1-5 Kegunaan Produk Paraxylene

No.	Jenis Penggunaan	Proses Pemakaian
1.	PTA	Bahan baku produk <i>intermediate</i> PTA
2.	<i>Solvent</i> penguapan	Ditambahkan pada zat yang akan diuapkan sehingga prosesnya lebih cepat
3.	<i>Xylidine</i>	Nitrasi senyawa xylene menjadi nitroxylene dan diubah menjadi <i>xylidine</i>
	Serat Sintesis Dakron	Paraxylene dioksidasi dicampur metanol dan <i>ethyl glycol</i>
	Petroleum	Komponen aviasi dan sebagai campuran bensin dengan harga antiknok tinggi

	Emulsifier dari fungisida dan insektisida	Pelarutan <i>toxaphene</i> , <i>hexachlorobenzene</i>
	<i>Solvent</i> resin	Pelarut resin alam, phenol murni, <i>vinyl</i> , <i>styrene</i> , resin akrilik, resin maleic, karet, <i>melamine</i> , fenol, fenol <i>formaldehyde</i>
	Pewarna	Digunakan untuk fotografi, lithographi, cetak sutera, batik, dll
	Perekat	Dicampur dengan karet sintesis, neoprena, perbunan.
	Hidrotoping agent	Reaksi sulfonasi untuk perbedaan kelarutan pada pemisahan isomer
	Bahan penggosok	Penghilang spotting untuk pengeringan kering
	Xylenols	Sulfonasi yang dilanjutkan dengan desulfonasi

4. Toluene

Toluena adalah larutan jernih, tidak berwarna, bersifat volatil dengan bau aromatik menyerupai benzena, dan mudah terbakar dengan titik nyala 4 °C sehingga toluena tergolong ke dalam zat pembakar berbahaya yang signifikan pada suhu ruangan. Toluena banyak digunakan dalam produk rumah tangga antara lain sebagai aerosol, cat kuku, cat, penghilang karat, larutan pembersih dan rokok. Toluena mengiritasi kulit, mata, dan saluran pernafasan dan dapat menyebabkan keracunan sistemik melalui penelanan atau penghirupan dan diserap pelan-pelan melalui kulit. Cara yang paling umum biasanya melalui penghirupan/inhalasi (Bukasa, Koleangan, Aktif, & Kemiri, 2012)

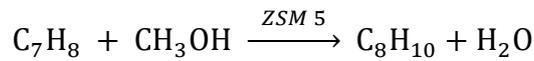
1.3.4 Macam-macam Proses

Proses utama dalam pembuatan paraxylene ada dua yaitu transalkilasi/methylasi toluene dan disproporsionasi toluene.

1. Transalkilasi

Alkilasi merupakan reaksi toluene dengan methanol Umumnya disebut methylasi dari toluene. Gugus methyl dari methanol akan masuk pada senyawa benzene dan membentuk paraxylene. Gugus *methyl* dari *methanol*

akan masuk pada senyawa *benzene* dan membentuk *paraxylene*, reaksi dapat ditulis sebagai berikut:

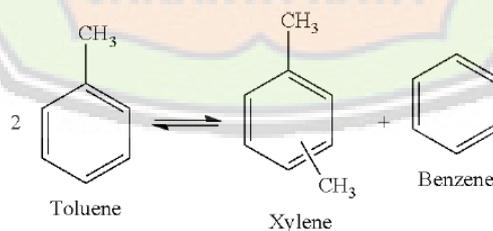


Pada proses ini membutuhkan bahan bakunya antara lain *toluene* dan *methanol* sebagai pemberi gugus alkyl. toluene dan methanol direaksikan ke dalam reaktor dengan jenis *fixed bed reaktor* yang berisi tumpukan katalis ZSM-5, dengan kondisi temperature sebesar 673°K dan tekanan 1-2 atm (Abdi-khanghah et al., 2019). Menghasilkan selektivitas *paraxylene* sebesar 99,9% kemudian 0.05% *ortoxylene* dan 0.05% *metaxylene*, dengan konversi toluene sebesar 50%.

Dilanjutkan dengan proses pemisahan dengan Menara destilasi untuk memisahkan *paraxylene* dari produk samping lainnya. Setelah itu dilanjutkan pada proses pemurnian agar didapat produk *paraxylene* dengan selektivitas kemurnian 99,9%.

2. Disproporsi Toluene

Proses disproporsionasi toluene merupakan proses transkilasi secara katalitik, di mana toluene dikonversi menjadi benzene dan xylene. Dua mol toluene menjadi satu benzene dan satu xylene, reaksi dapat ditulis sebagai berikut:



Xylene yang terbentuk dari campuran ini adalah mixed xylene dan benzene. Paraselectivity adalah jumlah proporsi *paraxylene* (p-xylene) dalam total campuran xylene. Dari percobaan yang dilakukan oleh Young Butter dan Kaeding (*Journal of Catalyst*, 1982) di dapatkan bahwa penggunaan katalis

ZSM-5 zeolit pada reaksi disproporsionasi toluene akan menghasilkan paraxylene dengan konsentrasi 70–90% dalam mixed xylene tersebut. Konsentrasi ini jauh lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi paraxylene dalam kesetimbangan yang hanya mencapai 24%. Kenaikan paraselectivity pada katalis ZSM-5 ini disebabkan oleh adanya kontrol dispersi secara selektif dari pori-pori katalis. Benzene yang terbentuk dari reaksi disproporsionasi toluene dapat dengan cepat meninggalkan permukaan katalis, kemudian diikuti oleh paraxylene. Sedangkan, orthoxylene dan metaxylene memiliki waktu tinggal di dalam katalis yang lebih lama, hal ini disebabkan oleh difusivitas dari keduanya yang lebih rendah dibanding paraxylene. Proses disproporsionasi toluene telah dikembangkan oleh beberapa perusahaan seperti Mobil di Enichem Refinery yang diberi nama MSTDP (Mobil Selective Toluene Disproportionation Process). Proses ini memiliki konversi toluene sebesar 45% dengan selektivitas paraxylene sebesar 95%..

1.3.5 Pemilihan Proses

Berdasarkan penjelasan dari kedua proses diatas maka dipilih proses alkilasi atau methilasi toluene karena mempertimbangkan kemurnian dari produk serta memiliki tekanan yang lebih kecil yaitu sekitar 1-2 atm dibandingkan dengan disproporsi toluene yang memerlukan tekanan hingga 24 atm sehingga dapat menghemat biaya serta waktu dalam proses kemudian berimbang pada life time dari katalis itu sendiri.

1.3.6 Tinjauan Termodinamika

Tinjauan termodinamika. Termodinamika sangat diperlukan dalam prinsip keseimbangan reaksi. Berdasarkan pada harga enthalpy dari reaksi pembentukan, maka reaksi tersebut termasuk reaksi eksotermis, sedangkan untuk menentukan apakah reaksi bolak-balik atau searah yaitu dengan menentukan harga K , jika harga K lebih besar daripada 1 (satu) maka reaksi akan berjalan ke arah kanan (searah), dan jika harga K lebih kecil daripada 1 (satu) maka reaksi akan berjalan ke arah kanan dan kiri (bolak-balik).

Harga (ΔH°_f) dan (ΔH°_G) masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat pada Tabel (Yaws, 1999)

Tabel 1-6 Harga Gibbs dan Enthalpy standar

Komponen	ΔH°_f (kJ/mol)	ΔH°_G
C_7H_8	50,2	122,3
CH_3OH	-200,9	-162,2
C_8H_{10}	18	121,5
H_2O	-241,8	-228,59
C_9H_{12}	-9,58	145,44

a. Reaksi utama :

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{reaksi}} &= \Delta H_f^\circ \text{ produk} - \Delta H_f^\circ \text{ reaktan} \\ &= (\Delta H_f^\circ C_8H_{10} + \Delta H_f^\circ H_2O) - (\Delta H_f^\circ C_7H_8 + \Delta H_f^\circ CH_3OH) \\ &= (18 + (-241,8)) - (50,2 + (-200,9)) \\ &= -223,8 - (-150,7) \\ &= -73,1 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

b. Reaksi Samping:

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{reaksi}} &= \Delta H_f^\circ \text{ produk} - \Delta H_f^\circ \text{ reaktan} \\ &= (\Delta H_f^\circ C_9H_{12} + \Delta H_f^\circ 2.H_2O) - (\Delta H_f^\circ C_7H_8 + \Delta H_f^\circ 2.CH_3OH) \\ &= ((-9,58) + 2(-241,8)) - (50,2 + 2(-200,9)) \\ &= (-493,18) - (-351,6) \\ &= -141,58 \text{ kJ / mol} \end{aligned}$$

Reaksi yang terjadi pada ke dua reaksi merupakan reaksi eksotermis, karena harga enthalpy reaksi bernilai negatif sehingga reaksi melepaskan panas. Dalam prarancangan pabrik paraxylene ini, semua reaksi merupakan reaksi irreversible (searah) yang terlihat dari harga Gibbs pembentukan, hal tersebut dapat dibuktikan dengan cara sebagai berikut:

a. Reaksi Utama:

$$\Delta G_f^\circ \text{ reaksi} = \Delta G_f^\circ \text{ produk} - \Delta G_f^\circ \text{ reaktan}$$

$$\begin{aligned}
&= (\Delta G_f^\circ \text{C}_8\text{H}_{10} + \Delta G_f^\circ \text{H}_2\text{O}) - (\Delta G_f^\circ \text{C}_7\text{H}_8 + \Delta G_f^\circ \text{CH}_3\text{OH}) \\
&= (121,5 + (-228,59)) - (122,3 + (-162,2)) \\
&= -107,09 - (-39,9) \\
&= -67,19 \text{ kJ / mol} \\
&= -16.051,691 \text{ kcal/mol}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\ln K &= -\Delta G_f^\circ \text{ reaksi /R. T} \\
&= \frac{-(-16.051,691)}{1,987 \text{ kal /mol.K} \times 298 \text{ K}} \\
&= \frac{16.051,691}{592,126} \\
&= 27,1085
\end{aligned}$$

$$K = 5,93024\text{E}+11$$

b. Reaksi Samping:

$$\begin{aligned}
\Delta G_f^\circ \text{ reaksi} &= \Delta G_f^\circ \text{ produk} - \Delta G_f^\circ \text{ reaktan} \\
&= (\Delta G_f^\circ \text{C}_9\text{H}_{12} + \Delta G_f^\circ 2.\text{H}_2\text{O}) - (\Delta G_f^\circ \text{C}_7\text{H}_8 + \Delta G_f^\circ 2.\text{CH}_3\text{OH}) \\
&= (145,44 + (2. (-228,59))) - (122,3 + 2.(-162,2)) \\
&= -311,74 - (-202,1) \\
&= -109,64 \text{ kJ / mol} \\
&= -26.192,996 \text{ kcal/mol}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\ln K &= -\Delta G_f^\circ \text{ reaksi /R. T} \\
&= \frac{-(-26.192,996)}{1,987 \text{ kal /mol.K} \times 298 \text{ K}} \\
&= \frac{26.192,996}{592,126} \\
&= 44,235
\end{aligned}$$

$$K = 1,62561\text{E}+19$$

Harga konstanta kesetimbangan adalah lebih dari 1 maka reaksi berlangsung secara irreversible (searah).

Tabel 1-7 Entropi Standar

Komponen	S°
C ₇ H ₈	321,08
CH ₃ OH	239,88

C ₈ H ₁₀	352,18
H ₂ O	186,94
C ₉ H ₁₂	432,52

a. Reaksi Utama:

$$\begin{aligned}
 \Delta S^\circ &= \Sigma S^\circ(\text{produk}) - \Sigma S^\circ(\text{pereaksi}) \\
 &= (S^\circ \text{ C}_8\text{H}_{10} + S^\circ \text{ H}_2\text{O}) - (S^\circ \text{ C}_7\text{H}_8 + S^\circ \text{ CH}_3\text{OH}) \\
 &= (352,18 + 186,94) - (321,08 + 239,88) \\
 &= 539,12 - 560,96 \\
 &= -21,84 \text{ J/K mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta S^\circ &= \Sigma S^\circ(\text{produk}) - \Sigma S^\circ(\text{pereaksi}) \\
 &= (S^\circ \text{ C}_9\text{H}_{12} + S^\circ 2 \cdot \text{H}_2\text{O}) - (S^\circ \text{ C}_7\text{H}_8 + S^\circ 2 \cdot \text{CH}_3\text{OH}) \\
 &= (432,52 + 2(186,94)) - (321,08 + 2(239,88)) \\
 &= 806,4 - 800,84 \\
 &= 5,56 \text{ J/K mol}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya menghitung energy bebas ΔG° dengan menggunakan nilai ΔH° dan ΔS° dengan persamaan sebagai berikut :

a. Reaksi Utama:

$$\begin{aligned}
 \Delta G^\circ &= \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ \\
 &= -73,1 \text{ kJ/mol} - (298\text{K} \times -21,84 \text{ J/K mol}) \\
 &= -73,1 \text{ kJ/mol} - (-6,508 \text{ kJ/K mol}) \\
 &= -66,592 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Nilai energi bebasnya negatif maka terjadi reaksi namun demikian reaksi pembentukan paraxylene adalah spontan

b. Reaksi samping

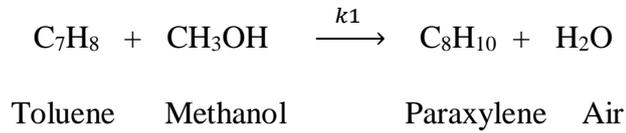
$$\begin{aligned}
 \Delta G^\circ &= \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ \\
 &= -141,58 \text{ kJ / mol} - (298 \text{ K} \times 5,56 \text{ J/K mol}) \\
 &= -141,58 - 1,66 \\
 &= -143,24 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Nilai energi bebasnya negatif maka terjadi reaksi namun demikian reaksi

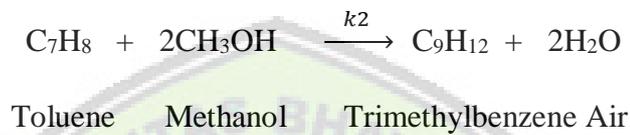
pembentukan paraxylene adalah spontan

1.3.7 Kinetika Reaksi

Proses pembuatan *paraxylene* dengan metode oksidasi ortho xylene dalam fasa gas memiliki reaksi utama yaitu :



Reaksi samping:



$$-r_A \cdot \rho_B \cdot dV = F_{AO} \cdot dX$$

$$k \cdot C_A \cdot \rho_B \cdot dV = Q \cdot C_{AO} \cdot dX_A$$

dengan $Q = \text{Volume gas m}^3/\text{detik}$

$$k \cdot C_{AO} \cdot (1 - X_A) \cdot \rho_B \cdot dV = Q \cdot C_{AO} \cdot dX_A$$

$$\frac{dV}{Q} = \frac{1}{k \cdot \rho_B} \cdot \frac{dX_A}{(1 - X_A)}$$

$$\int_0^v \frac{dV}{Q} = \frac{1}{k \cdot \rho_B} \cdot \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{(1 - X_A)}$$

$$k = \frac{Q}{V} \cdot \frac{1}{\rho_B} \cdot \ln(1 - X_A)$$

$$\frac{Q}{V} = \text{GHSV}$$

sehingga,

$$k = -\frac{\text{GHSV}}{\rho_B} \cdot \ln(1 - X_A)$$

Dimana,

k = Konstanta laju reaksi ($\text{m}^3/\text{kg katalis}\cdot\text{jam}$)

ρ_B = Densitas katalis kg/m^3

x_A = Konversi

Q = Volume gas m^3/detik

$-r_A$ = Laju reaksi ($\text{kmol}/\text{m}^3\cdot\text{jam}$)

Katalis dapat bekerja pada temperature $400\text{ }^\circ\text{C}$ dan $427\text{ }^\circ\text{C}$, dengan tekanan 1 atm masing – masing konversi 50% dan 3.8% :

Jika data yang ada dimasukkan ke persamaan

$$k = -\frac{GHSV}{\rho_B} \cdot \ln(1 - x_A)$$

maka,

- Pada $T_1 = 400\text{ }^\circ\text{C}$
 $k_1 = 49822,40007\text{ m}^3/\text{kg katalis}\cdot\text{jam}$
- Pada $T_2 = 427\text{ }^\circ\text{C}$
 $k_2 = 2784,633771\text{ m}^3/\text{kg katalis}\cdot\text{jam}$

Persamaan Arrhenius

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

$$\ln(k) = \ln(A) - \frac{E}{RT}$$

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = -\frac{E}{RT} \cdot \left[\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right]$$

Dimana

E = Energi aktivasi (kal/gmol)

A = Faktor tumbukan

R = Tetapan gas ideal, $8,314470(\text{L}\cdot\text{atm}/\text{gmol}\cdot\text{K})$

T = Suhu (K)

didapatkan laju reaksi adalah

$$(-r_A) = 114,434 \text{ kmol/m}^3\cdot\text{jam}$$

Waktu tinggal $\tau = 0,01965$ detik

1.4 Penentuan Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik yang akan dirancang harus mempertimbangan beberapa faktor yaitu factor primer dan factor sekunder. Dari pertimbangan-pertimbangan tersebut maka pabrik *paraxylene* akan didirikan di Tuban Jawa Timur. Pemilihan lokasi di Tuban didasarkan atas beberapa pertimbangan yang secara praktis menguntungkan dari segi ekonomis dan dari segi teknisnya.

1.4.1 Ketersediaan Bahan Baku

Faktor Primer Penentuan Lokasi Pabrik yaitu ketersediaan akan bahan baku yang digunakan dalam produksi.

1.) Penyediaan Bahan baku

Lokasi pabrik dekat dengan penyediaan bahan baku dan pemasaran produk agar dapat meminimalkan biaya transportasi. Bahan baku dari pabrik *paraxylene* ini adalah toluene yang rencananya akan didatangkan dari PT. Trans Pasific Chemical Indotama yang berlokasi di Tuban Jawa Timur serta bahan baku utama lainnya yakni metanol yang akan didatangkan dari PT. Metanol Bunyu yang terletak di pulau Bunyu Kalimantan Timur. Sedangkan bahan baku lainnya dapat mengikuti dikarenakan akses transportasi yang mudah.

2.) Pemasaran Produk

Paraxylene adalah bahan kimia penting dalam proses pembuatan plastic botol PET dan serat *polyester*. *Paraxylene* secara luas digunakan sebagai bahan baku dalam produksi industry kimia lainnya, *purified terephthalic acid* (PTA) dan *dimethyl terephthalate* (DMT). Keduanya digunakan untuk memproduksi *polyester polyethylene terephthalate* (PET), salah satu jenis plastic.

Seperti diketahui, bahwa saat ini permintaan untuk botol PET sedang meningkat. Hal ini dikarenakan peningkatan permintaan PET untuk botol minuman cepat saji dan botol air mineral, sehingga meningkatkan permintaan *paraxylene* di pasaran.

3.) Ketersediaan energy dan air

Lokasi pabrik seharusnya dekat dengan sumber energy dan air, karena air merupakan kebutuhan yang sangat penting dalam suatu pabrik seperti dalam unit proses, pendingin, pemanas (steam), kebutuhan sanitasi maupun domestic dan kebutuhan-kebutuhan lainnya. Sumber air yang biasa digunakan berasal dari air laut, air sungai, dan air danau. Wilayah Tuban Jawa Timur yang kita tahu memiliki sungai bersumber dari mata air pegunungan yang bersih dapat menjadi nilai plus untuk ketersediaan akan kebutuhan air.

4.) Kondisi geografis dan social

Pemilihan lokasi pabrik sebaiknya didirikan di daerah yang stabil dari gangguan bencana alam seperti banjir, gempa bumi, dan bencana alam lain. Kebijakan dari pemerintah setempat juga menjadi factor yang penting dalam pemilihan lokasi pabrik. Kondisi social masyarakat diharapkan dapat memberi dukungan terhadap operasional pabrik sehingga lokasi pabrik yang dipilih adalah lokasi yang masyarakatnya dapat menerima keberadaan pabrik tersebut.

2. Faktor Sekunder Penentuan Lokasi Pabrik

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi penentuan lokasi pabrik adalah sebagai berikut:

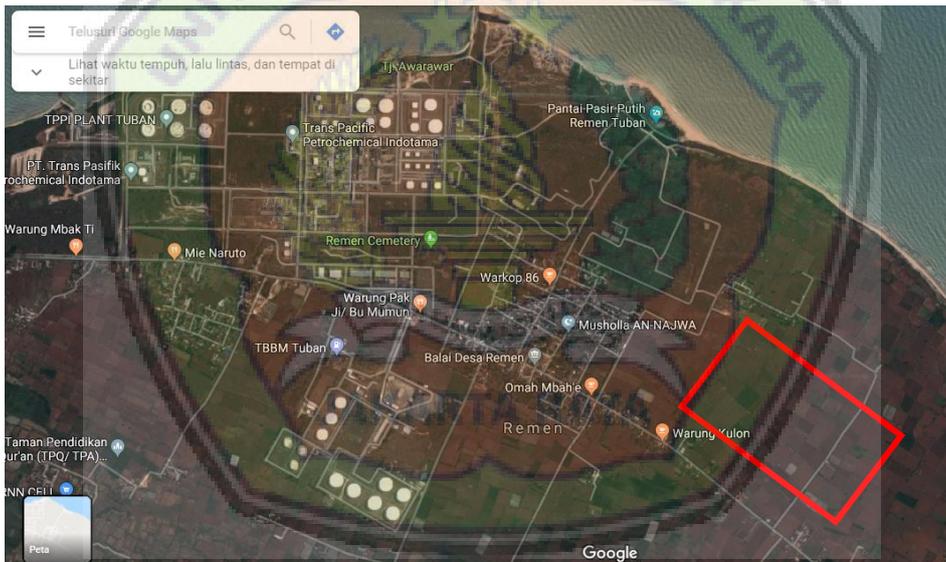
- b. Dekat dengan air sungai
- c. Sarana dan prasarana yang baik berupa transportasi, jalan, dan listrik yang memadai.
- d. Bukan daerah yang subur sehingga limbah dari pabrik tidak mengganggu lahan pertanian.

1.4.2 Sarana Transportasi

Transportasi dapat mempengaruhi kelancaran produksi suatu pabrik, karena dalam pengiriman produk maupun penyediaan bahan baku sangat bergantung pada transportasi, transportasi dalam suatu industri dapat mempermudah dan melancarkan dalam proses pengiriman. Oleh sebab itu maka pabrik Paraxylene ini didirikan dengan beberapa pertimbangan antara lain Transportasi yang tersedia, dekat dengan pelabuhan, bahan baku dan pasar.

1.4.3 Pemilihan Lokasi Pabrik

Berdasarkan faktor - faktor penentuan lokasi pabrik diatas, maka Lokasi pabrik berada direncanakan akan didirikan di Tuban Jawa Timur tepatnya di daerah Remen, Jenu, Kabupaten Tuban – Jawa Timur. Alasan pemilihan lokasi ini adalah karena lokasi pabrik dekat dengan bahan baku toluene dari PT. Trans Pacific Petrochemical Indotama.



Gambar 1-2 Lokasi Perusahaan

Sumber www.maps.google.com

1.4.4 Sumber Daya Manusia

Tenaga kerja adalah elemen yang penting dalam pengoperasian suatu pabrik untuk memperlancar jalannya suatu proses industri dibutuhkan tenaga kerja yang terdidik dan terampil. Jawa Timur merupakan kawasan industri yang

sudah mapan. Sehingga untuk mendapatkan tenaga kerja ahli ataupun tenaga kerja biasa cukup mudah dari daerah sekitar industri.

1.5 Uraian Proses

1.5.1 Proses Persiapan Bahan Baku

1. Tahap Penyimpanan Bahan Baku

Sebelum dilakukan produksi, bahan baku *toluene* disimpan dalam tangki penyimpanan tipe *Cylindrical Vertikal Tank* (T-02) dalam fasa cair karena sifatnya yang volatile (mudah menguap) dengan suhu 25°C (77°C) bertekanan 1 atm. Selain bahan baku *toluene*, bahan baku *methanol* juga diperlukan pada prancangan pembuatan paraxylene ini. *Methanol* disimpan dalam tangki tipe *Cylindrical Vertikal Tank* (T-01) dalam fasa cair dengan suhu 25°C (77°C) bertekanan 1 atm.

2. Tahap Penyiapan Bahan Baku

Toluene (C_7H_8) dalam fasa cair memiliki kemurnian 99% berat dipompa dengan menggunakan pompa (P-01) dari tangki bahan baku (T-01) menuju *Heat Exchanger* (HE-01) guna mengubah fasa Toluene yang semula cair menjadi uap dengan suhu 110°C , tekanan 1 atm sesuai dengan kondisi reaktor dan mengubahnya menjadi fasa uap, yang kemudian didistribusikan secara vertikal melalui bawah reaktor (R-01)

Bahan baku *Methanol* (CH_3OH) sebagai zat pengalkilasi memiliki kemurnian 99% berat dipompa (P-02) menuju reaktor (R-01) secara vertikal melalui *Heat Exchanger* (HE-02) untuk menaikkan suhu menjadi 110°C , tekanan 1 atm sesuai untuk mengubahnya menjadi fasa uap, sebelum masuk ke reaktor (R-01).

1.5.2 Proses Reaksi

Toluene dan *Methanol* mengalami reaksi Alkilasi Toluene yang membentuk selektivitas paraxylene hingga 99,9% (Vu, Miyamoto, Nishiyama, Egashira, & Ueyama, 2006). Tipe reaktor yang digunakan adalah *multitube fixed*

bed reactor (R-01). Dimana *multitube fixed bed reactor* ini merupakan jenis reaktor kimia dalam keadaan banyak fase baik cair dan gas yang dialirkan melalui katalis padatan Silicates/H-ZSM-5 berukuran pori 5-7 angstrom dengan kecepatan tertentu sehingga katalis akan bergejolak sedemikian rupa sehingga membantu terjadinya reaksi. Reaksi yang terjadi dalam reaktor adalah reaksi eksotermis. Berikut reaksi yang terjadi di dalam reaktor



Toluene Methanol Paraxylene air

Rasio mol C_7H_8 : CH_3OH yaitu 1 : 1 dengan konversi toluene sebesar 50% dan menghasilkan selektivitas paraxylene sebesar 99.9%.

Produk yang dihasilkan keluar dari reaktor utama (R-01) melalui atas yang selanjutnya melewati 2 penukar panas condenser (CD-01) dan (CD-02) digunakan 2 condenser untuk mengurangi beban condenser saat menurunkan panas keluaran reaktor dari suhu 600 °C menjadi 92 °C menuju flash drum (FD-01)

1.5.3 Proses Finishing

1. Tahap Pemisahan dan Pemurnian Produk

Suhu hasil keluaran reaktor (R-01) berkisar pada suhu 400- hingga 450°C dilewatkan penukar panas condenser (CD-01) dan (CD-02) hingga gas produk mencapai suhu 92°C, sebelum dimasukkan ke umpan Flash Drum (FD-01). berfungsi untuk memisahkan *methanol* dari komponen aromatik lainnya (*Toluene dan Paraxylene*). Selanjutnya umpan dimasukkan ke menara destilasi (MD-01)

Hasil atas atau destilat dari flash drum (FD-01) adalah *methanol* yang memiliki titik didih 64,7°C dilewatkan *condenser* (CD-02) kemudian kembali lagi ke aliran *methanol* pada keluaran tangki (T-01). Hasil bawah dari flash drum (FD-01) mengandung zat aromatik berupa *toluene, paraxylene, air dan trimethylbenzene* menuju decanter (H-01), sebelum dimasukkan ke dalam

dekanter. Penurunan suhu bertujuan untuk membuat hasil keluaran reaktor (R-01) menjadi dua fase yaitu fase berat dan fase ringan. Hasil umpan yang berupa fase berat dan fase ringan dipisahkan dengan decanter yang berfungsi untuk memisahkan campuran berdasarkan berat jenis dimana fase berat adalah air adalah 1g/cm^3 dan fase ringan adalah *Toluene, Para-xylene* dan *Trimethylbenzene* dengan berat jenis 0.8623 g/cm^3 , 0.861 g/cm^3 , dan $0,89\text{ g/cm}^3$

Menggunakan prinsip sentrifugal dimana cairan atau suspensi komponen yang terdapat dalam campuran tersebut dimasukkan ke dalam decanter yang berbentuk silinder dibagian porosnya, lalu decanter diputar dengan kecepatan tertentu sehingga terbetuk gaya sentrifugal yang mengakibatkan cairan maupun suspensi yang memiliki berat jenis lebih berat akan terdesak ke dinding decanter dimana terdapat outlet untuk mengeluarkan zat tersebut. Zat dengan berat jenis yang lebih kecil tersebut akan tertahan dibagian poros yang pada bagian itu dibuatkan outlet untuk mengeluarkan zat yang lebih ringan tersebut Di decanter akan diperoleh hasil bawah yaitu fase berat sebagian air, hasil atas yaitu fase ringan yang terdiri dari campuran *Toluene, Para-xylene* dan *Trimethylbenzene*.

Hasil atas dari decanter kemudian dilewatkan *heat exchanger* untuk dinaikkan suhunya sesuai dengan suhu destilasi (MD-01).

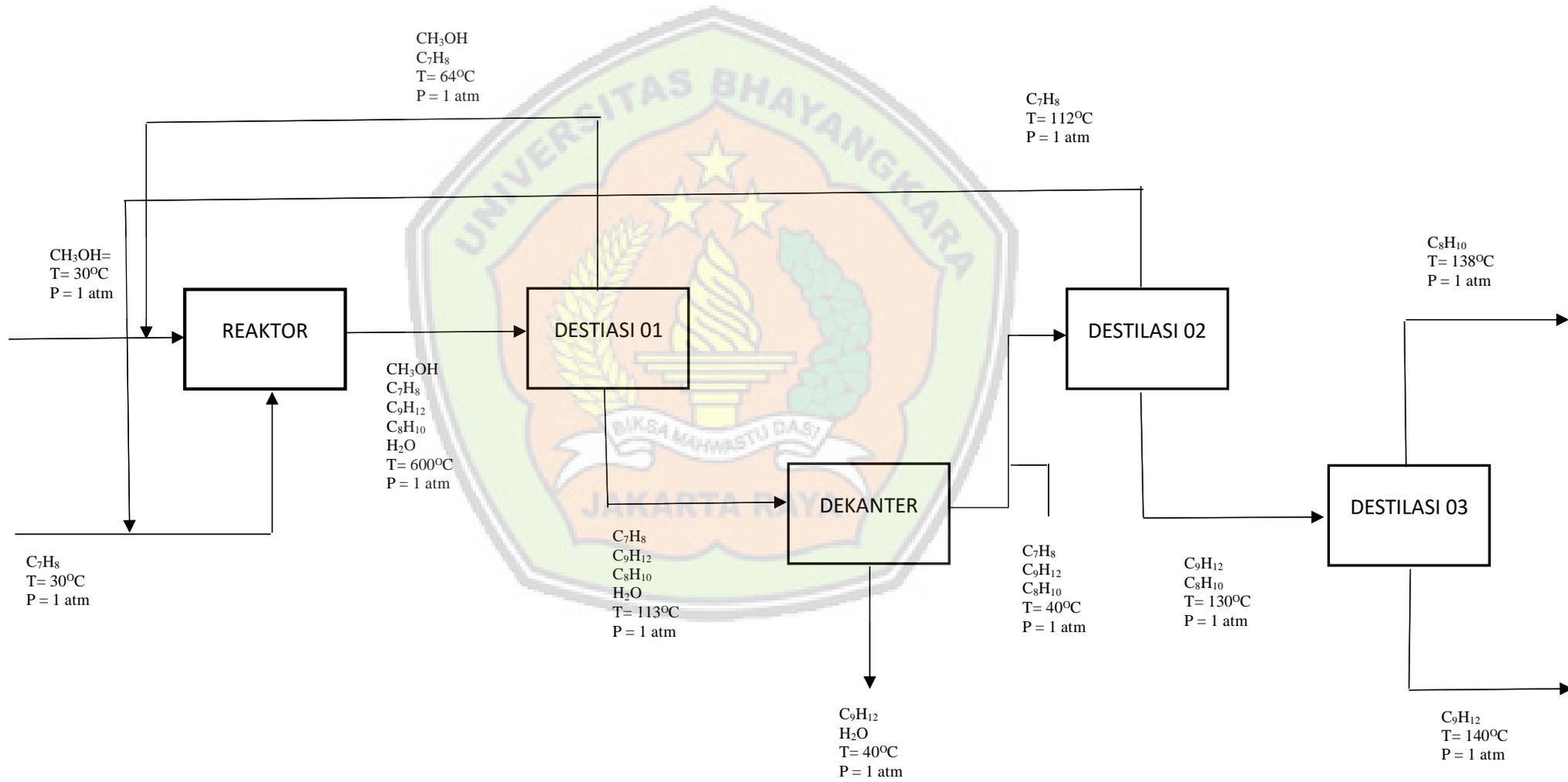
Adapun tujuan dari Menara destilasi pertama (MD-01) adalah untuk memisahkan *toluene* dan produk yaitu *paraxylene*, serta produk sampingnya yaitu *trimethylbenzene* dari hasil atas keluaran dekanter (H-01) melalui penukar panas (HE-06). Hasil atas adalah berupa *toluene* yang memiliki titik didih lebih rendah dari *paraxylene* yaitu $110,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, sedangkan *paraxylene* adalah 138.36°C . Kemudian toluene yang dihasilkan dari destilasi pertama (MD-01) dialirkan kembali sebagai recycle ke aliran *toluene* pada keluaran tangki (T-02). Hasil bawah yang berupa produk *paraxylene* dan produk *trimethylbenzene* melalui penukar panas (HE-07) menuju Menara destilasi 02 (MD-02). Tujuan dari Menara destilasi 02 adalah untuk melakukan pemisahahn dan pemurnian produk *paraxylene* dari produk samping yaitu

trimethylbenzene, berdasarkan perbedaan masing-masing komponen. Hasil atas atau destilat adalah *paraxylene* dengan kondisi operasi destilat adalah 138,35°C. Komponen *paraxylene* dengan selektifitas mencapai 99,9% dilewatkan *Heat Exchanger* untuk menurunkan suhu dari keluaran atas destilasi menuju tangki penyimpanan *paraxylene* (T-03) dengan tipe *Cylindrical Vertikal Tank*.

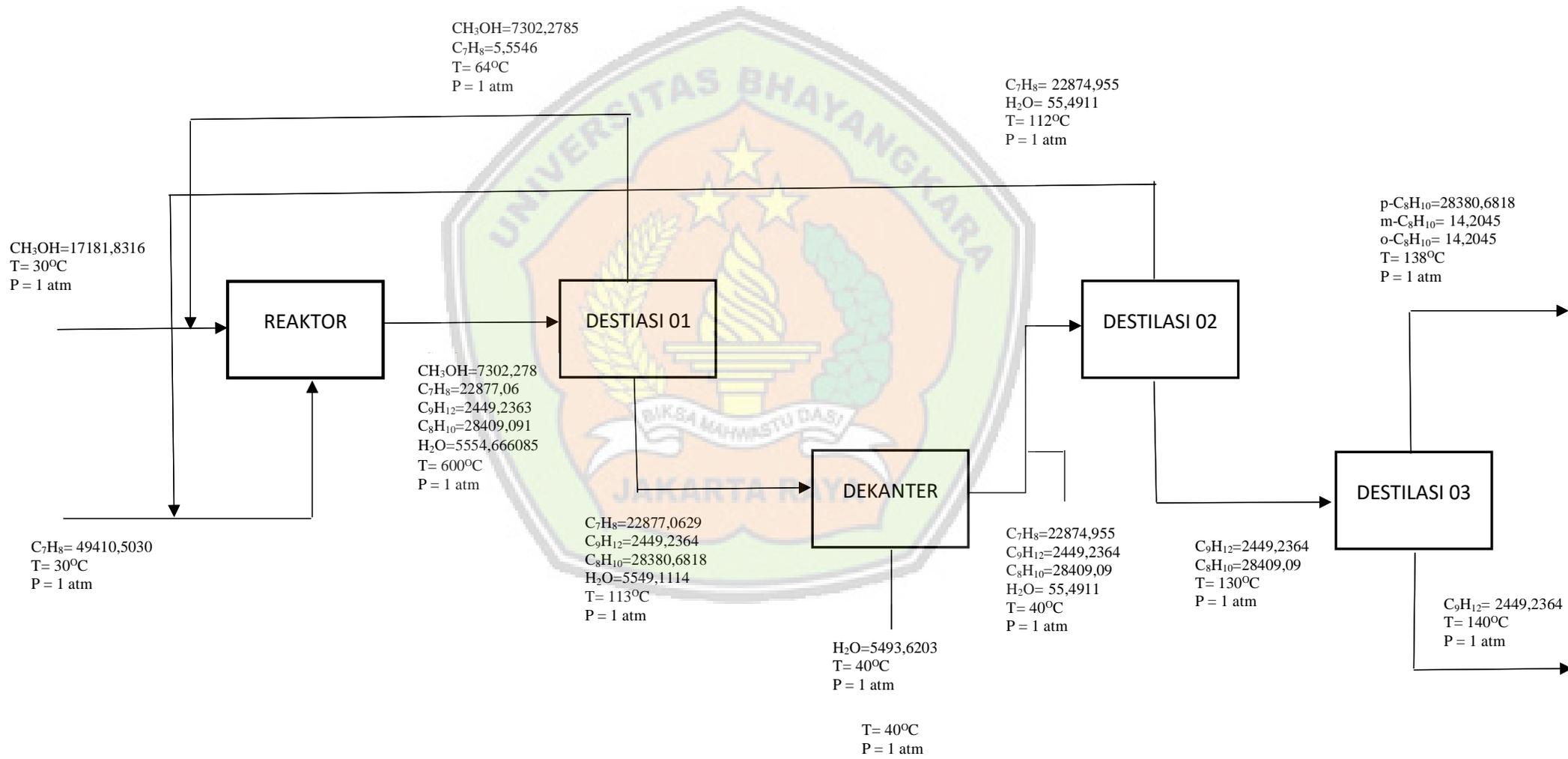
Sedangkan hasil bawah dari menra destilasi 03 (MD-03) adalah produk samping *trimethylbenzene* dilewat kan *Heat exchanger* (HE-) terlebih dahulu untuk menurunkan temperatur dari destilasi yaitu 176 °C ke temperature 30 °C sebelum akhirnya diumpankan ke tangka penyimpanan (T-04) dengan tipe *Cylindrical Vertikal Tank*.



1.5.4 Diagram Alir Kuanlitatif



1.5.5 Diagram Alir Kuantitatif



1.6 Spesifikasi Bahan Baku

1.6.1 Spesifikasi Bahan Baku

1. Toluene (C₇H₈)

Sifat - sifat fisis :

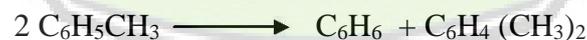
- Berat Molekul : 92.133 g/mol
- Fasa : cair
- Titik Didih (P=1 atm) : 110,6 °C
- Titik Beku (P=1 atm) : -95.2 °C
- Temperatur Kritis : 318.6 °C
- Kemurnian : 99% wt
 - P-xylene : max 0,50% wt
 - M-xylene : max 0,30%
 - O-xylene : max 0,20% wt
- Volume Kritis : 0.316 L/mol
- Tekanan Kritis : 40.56 atm
- *Density* pada 25 °C : 0.8623 g/cm³

• Sifat Kimia

- Alkilasi Toluene :



- Disproporsionasi Toluene :



2. Methanol (CH₃OH)

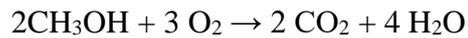
a. Sifat - sifat fisis :

- Berat Molekul : 32.038 g/mol
- Fasa : cair
- Titik Didih (P=1 atm) : 64.7 °C
- Titik Beku (P=1 atm) : -97 °C
- Kelarutan dalam air : *Fully miscible*
- Tekanan Kritis : 79,9 atm

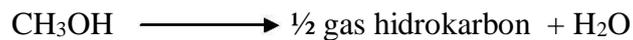
- Viskositas pada 20 °C : 0.59 mPa
- *Density* pada 25 °C : 0.7918 g/cm³

b. Sifat Kimia

- Reaksi kimia metanol yang terbakar di udara dan membentuk karbon dioksida dan air adalah



- Dehidrasi methanol :



- Mudah terbakar
- Beracun
- Mudah menguap
- Tidak berwarna
- Bau yang khas

1.6.2 Spesifikasi Katalis

a. Katalis

- Jenis : Silika-Alumina (H-ZSM-5)
- Fasa : Padat
- Bentuk : Granul (butiran bola kecil)
- Porositas : 0,365
- Ukuran pori-pori : 5,1 x 5,5 Å
- Density : 100 – 600 kg/m³
- Volume pori : 0.13 cm³/gram,
- Diameter : 0.738 cm

1.6.3 Spesifikasi Produk

Produk Utama

1. Paraxylene

Sifat - sifat fisis :

- Berat Molekul : 106.158 g/mol
- Fasa : Cair
- *Density* (20 °C) : 0.861 g/cm³
- Kemurnian : 99,9% wt

- M-xylene : 0,05% wt
- O-xylene : 0,05% wt
- Titik didih (P = 1 atm) : 138.36 °C
- Titik beku (P = 1 atm) : 13.26 °C
- Temperatur Kritis : 343.05 °C
- Tekanan Kritis : 34 atm

(Vu, Miyamoto, Nishiyama, Egashira, & Ueyama, 2006)

Produk Samping

1. Air (H₂O)

Sifat - sifat fisis :

- Berat Molekul : 18.013 g/mol
- Fasa : cair
- Titik Didih (P=1 atm) : 100 °C
- Titik Beku (P=1 atm) : 0 °C
- *Density* pada 20 °C : 0.998 g/cm³

2. 1,2,3-Trimethylbenzene (C₉H₁₂)

Sifat - sifat fisis :

- Berat Molekul : 120.183 g/mol
- Fasa : cair
- Titik Didih (P=1 atm) : 176.0 °C
- Titik Beku (P=1 atm) : -25.5 °C
- Temperatur Kritis : 664.5 °C
- Kemurnian : 99% wt
- Volume Kritis : 0.430 L/mol
- Tekanan Kritis : 34.6 atm
- *Density* pada 25 °C : 0.89 g/cm³

- **Sifat Kimia**

- Alkilasi Toluene :



- Disproporsionasi Toluene:



Tabel 1-8 Data Sifat Fisik C₈ Aromatis

SIFAT FISIK	O-XYLENE	M-XYLENE	P-XYLENE
Titik beku °C	-25	-47,4	13,2
Titik didih °C	144	139,3	138,5
Density (20°C)	0,8802	0,8642	0,8610
Temperatur Kritis °C	359,0	346,0	345,0
Tekanan Kritis, atm	36	35	34
Berat molekul g/mol	106,158	106,158	106,158

