

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri kimia mempunyai peranan sangat penting dalam pembangunan ekonomi. Pembangunan industri kimia di Indonesia sudah sangat baik. Hal ini ditunjukkan dengan banyak berdirinya industri kimia dan adanya kesempatan terbuka dalam penanaman modal asing di industri kimia.

Salah satu jenis industri kimia yang sangat besar pengaruhnya terhadap industri kimia lainnya di Indonesia adalah *paraxylene*. *Paraxylene* adalah salah satu isomer *xylene* yang paling penting. *Paraxylene* merupakan suatu senyawa yang digolongkan menjadi senyawa hidrokarbon aromatik. *Paraxylene* dapat diolah lebih lanjut menjadi berbagai macam produk akhir, sebagai contoh, pembuatan asam *terephtalat* (PTA) dan dimetil *terephtalat* (DMT). Asam *Terephtalat* (PTA) dan dimetil *terephtalat* (DMT) bisa diolah sebagai bahan industri plastik maupun tekstil atau bisa disebut perantara *polyester*, selain itu *paraxylene* juga bisa digunakan untuk bahan film, resin, fiber, *plasticizer*, bahan campur bensin, zat pengemulsi untuk fungisida dan insektisida, bahan penggosok dan lain sebagainya.

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, 2023).

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. Selain itu, produksi *paraxylene* dengan proses disproporsionasi *toluene* menghasilkan produk samping yaitu benzen yang dapat berguna pada pembuatan bahan kimia seperti alkil benzen, *styrene*, *cumene*, dan lain-lain. Pendirian pabrik *paraxylene* didalam negeri memiliki beberapa keuntungan, yaitu :

1. Dapat memenuhi kebutuhan *paraxylene* dalam negeri dan mengurangi impor dari luar negeri.

2. Bahan baku dapat diperoleh dan didapatkan di Indonesia.
3. Membuka lapangan pekerjaan sehingga angka pengangguran dapat menurun.
4. Memicu dan mendukung perkembangan industri kimia dengan bahan baku *paraxylene* di dalam negeri.

1.2 Rumusan Masalah

Paraxylene adalah hidrokarbon aromatik yang mudah terbakar dan tidak berwarna serta beracun, peranan *paraxylene* yang sebagian besar diarahkan ke produksi berbagai serat, film, dan resin membuatnya banyak dipakai pada berbagai industri. Indonesia merupakan salah satu negara yang membutuhkan *paraxylene*. Selama ini pemenuhan terhadap kebutuhan *paraxylene* di Indonesia tersebut dilakukan dengan cara mengimpor dari negara asing dan penggunaannya cenderung meningkat dari tahun ke tahun. Kebutuhan pasar domestik yang terus meningkat tersebut menyebabkan penting adanya pertimbangan pembangunan pabrik *paraxylene*. Oleh karena itu untuk memenuhi kebutuhan di dalam negeri diperlukan suatu usaha yakni dengan cara membuat prarancangan pabrik pembuatan *paraxylene* di Indonesia.

1.3 Tujuan Prarancangan Pabrik

Tujuan dari prarancangan pabrik *paraxylene* ini adalah :

1. Sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik kimia.
2. Untuk mengaplikasikan ilmu-ilmu Teknik kimia yang telah dipelajari selama di bangku perkuliahan.

1.4 Manfaat Prarancangan Pabrik

Manfaat dari perancangan ini agar mahasiswa lebih memahami dan mampu merealisasikan ilmu yang didapat selama perkuliahan dalam bentuk prarancangan pabrik *paraxylene* dengan kapasitas dan hasil produksi yang lebih baik. Selain alasan tersebut pendirian pabrik *paraxylene* juga memiliki manfaat sebagai berikut:

1. Dapat memenuhi kebutuhan permintaan *paraxylene* di dalam negeri,

sehingga dapat mengurangi ketergantungan terhadap negara lain dan dapat menghemat devisa negara.

2. Dapat meningkatkan devisa negara dari hasil produk *paraxylene* yang di ekspor.
3. Dapat menciptakan lapangan kerja baru bagi masyarakat dan dapat menunjang pemerataan pembangunan serta dapat meningkatkan taraf hidup masyarakat.
4. Merangsang industri-industri hulu yang berbahan baku *paraxylene*.

1.5 Batasan Masalah

Didalam penyusunan dan penyelesaian tugas prarancangan pabrik *paraxylene* ini, penyusun membatasi hanya pada *flowsheet (steadystate)* pabrik *paraxylene*, *dynamic mode*, neraca massa, neraca energi, spesifikasi peralatan, analisa ekonomi, unit utilitas dan tugas khusus.

1.6 Kapasitas Prarancangan Pabrik

Kapasitas pabrik merupakan faktor yang sangat penting dalam pendirian pabrik karena akan mempengaruhi perhitungan \wedge dan ekonomis. Semakin besar kapasitas pabrik kemungkinan keuntungan yang diperoleh akan semakin besar, tetapi dalam penentuan kapasitas perlu juga dipertimbangkan faktor lainnya. Hal yang perlu diperhatikan dalam penentuan kapasitas pabrik yaitu data kebutuhan *paraxylene* di Indonesia hingga dunia.

1.6.1 Kebutuhan *Paraxylene* di Indonesia

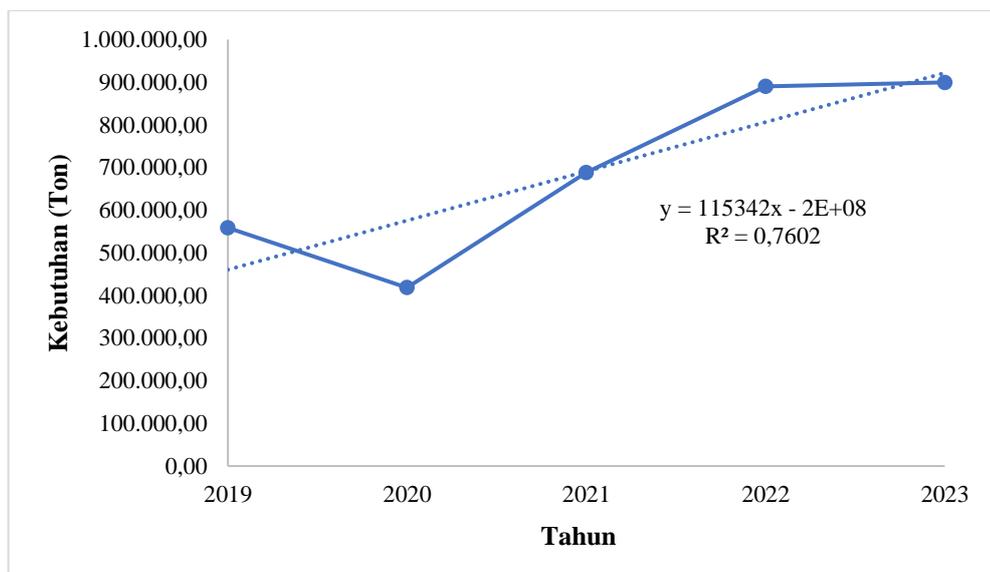
Data kebutuhan *paraxylene* di Indonesia dilihat dari peninjauan data impor dan ekspor negara Indonesia terhadap *paraxylene*. Adapun data kebutuhan *paraxylene* pada tahun 2018-2023 dapat dilihat pada Tabel 1.1 Menurut data dari Badan Pusat Statistik Indonesia menunjukkan peningkatan, hal ini dikarenakan kebutuhan impor *paraxylene* yang meningkat.

Tabel 1.1 Data Kebutuhan Impor *Paraxylene* di Indoonesia

| Tahun | Ton |
|-------|------------|
| 2019 | 558.824,32 |
| 2020 | 418.336,28 |
| 2021 | 688.357,24 |
| 2022 | 890.179,79 |
| 2023 | 899.615,00 |

(Sumber: Badan Pusat Statistik, 2023)

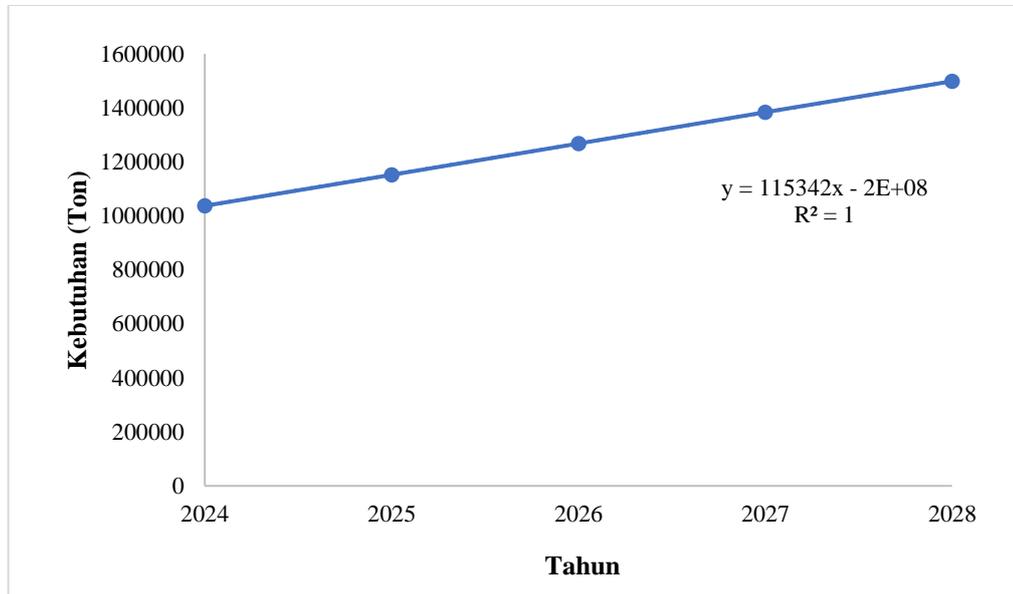
Dalam kurun waktu 5 tahun terakhir terdapat kenaikan kebutuhan *paraxylene* dalam negeri. Hal ini menunjukkan bahwa kebutuhan *paraxylene* dalam negeri masih tinggi walaupun tetap ada penurunan drastis di tahun 2020, tetapi pada tahun sesudahnya bertahap naik. Adapun grafik hubungan antara tahun dengan kebutuhan impor *paraxylene* di indonesia dapat dilihat pada gambar 1.1 berikut :



Gambar 1.1 Grafik Hubungan Antara Tahun Vs Kebutuhan Impor *Paraxylene* di Indonesia

Persamaan garis lurus yang didapatkan adalah sebagai berikut: $y = 115342x - 2E+08$, dimana X adalah jumlah tahun yang dihitung dari tahun 2019 sampai tahun yang akan dihitung, sedangkan Y adalah kebutuhan impor *paraxylene* pada tahun tertentu dalam satuan ton. Dengan menggunakan persamaan tersebut maka perkiraan kebutuhan impor *paraxylene* di Indonesia pada tahun 2028 sebagai

berikut:



Gambar 1.2 Grafik Hasil Ekstrapolasi Hubungan Antara Tahun Vs Kebutuhan Impor *Paraxylene* di Indonesia

Tabel 1.2 Data Hasil Ekstrapolasi Kebutuhan Impor *Paraxylene* di Indonesia

| Tahun | Jumlah (Ton/Tahun) |
|-------|--------------------|
| 2024 | 1.037.089,99 |
| 2025 | 1.152.432,48 |
| 2026 | 1.267.774,97 |
| 2027 | 1.383.117,45 |
| 2028 | 1.498.459,94 |

(Sumber: Data Ekstrapolasi, 2024)

Hasil prediksi dari tabel 1.2 menunjukkan bahwa kebutuhan impor *paraxylene* di Indonesia pada tahun 2028 mencapai 1.498.459,94 Ton/Tahun.

1.6.2 Kapasitas Pabrik *Paraxylene* di Berbagai Negara

Paraxylene merupakan bahan intermediate yang banyak digunakan oleh industri hulu di dunia. Adapun data kapasitas pabrik *paraxylene* yang ada di dunia pada tahun 2023 dapat dilihat pada Tabel 1.3.

Tabel 1.3 Kapasitas Pabrik *Paraxylene* di Berbagai Negara

| Nama Perusahaan | Negara | Kapasitas (Ton/Tahun) |
|-------------------------------|---------------|------------------------------|
| PT Pertamina | Indonesia | 270.000 |
| PT TPPI | Indonesia | 550.000 |
| Pamex | Mexico | 280.000 |
| Petronas | Malaysia | 350.000 |
| Mitsubishi Oil | Jepan | 370.000 |
| Formoca Chemical & Fiber Corp | Taiwan | 450.000 |
| Chevron Philips Chemical | USA | 454.000 |

(Sumber: USDA *Economis Research*, 2023)

Berdasarkan dari kapasitas - kapasitas pabrik yang sudah ada di dalam negeri seperti yang ditunjukkan pada tabel 1.3, diasumsikan bahwa sampai dengan tahun 2028 tidak ada pabrik *paraxylene* baru yang berdiri di dalam negeri dan tidak ada penambahan kapasitas dari 2 pabrik yang telah berdiri, maka jumlah produksi *paraxylene* di Indonesia pada tahun 2028 sebesar 820.000 ton/tahun yaitu PT. Trans Pacific Petrochemical Indotama (kapasitas 550.000 ton/tahun dan PT. Pertamina (kapasitas 270.000 ton/tahun).

Pada hasil proyeksi kebutuhan impor *paraxylene* di Indonesia tahun 2028 diperoleh sebesar 1.498.459,94ton/tahun dimana di Indonesia sendiri sudah berdiri dua pabrik *paraxylene* dengan total kapasitas 820.000 ton/tahun. Maka untuk memenuhi kebutuhan *paraxylene* di Indonesia dapat didirikan pabrik *paraxylene* yang kapasitasnya dapat dihitung sebagai berikut:

Diketahui :1. Kebutuhan impor *Paraxylene* tahun 2028 = 1.498.459,94 ton/tahun

2. Kapasitas yang sudah terpenuhi = 820.000 ton/tahun

Kapasitas pabrik = kebutuhan *paraxylene* tahun 2028 – kapasitas yang sudah terpenuhi

Kapasitas pabrik = 1.498.459,94 ton/tahun – 820.000 ton/tahun

Kapasitas pabrik = 678.459,94 ton/tahun

Kapasitas pabrik = 680.000 ton/ tahun

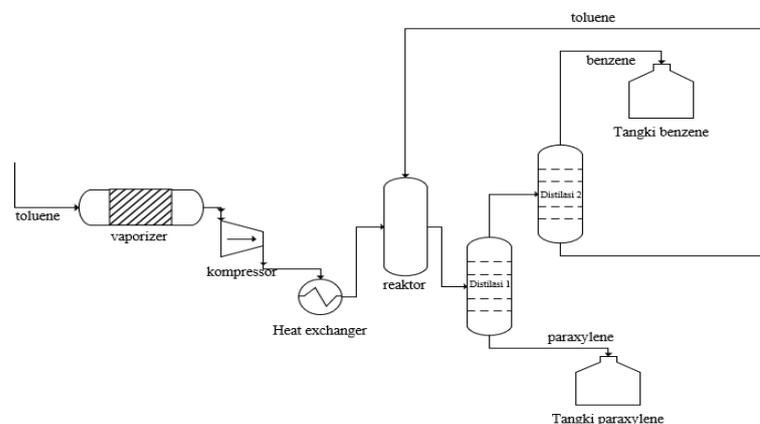
Berdasarkan perhitungan diatas, maka diambil peluang kapasitas pabrik di indonesia tahun 2028 sebesar 680.000 ton/tahun, dengan kapasitas tersebut direncanakan 80% untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri dan 20% untuk kebutuhan ekspor luar negeri. Di asumsikan dengan kapasitas tersebut sudah memenuhi kebutuhan *paraxylene* di Indonesia dan dapat menjalin hubungan antar negara.

1.7 Pemilihan Proses

Proses pembuatan *paraxylene* dapat dilakukan dengan berbagai cara, yaitu:

1.7.1 Proses Disproporsionasi *Toluene*

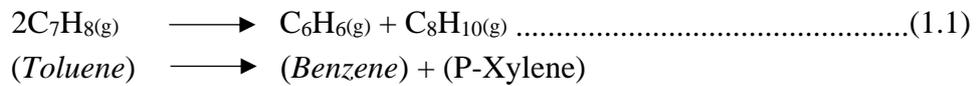
Proses disproporsionasi *toluene* merupakan proses transkilasi secara katalitik dimana dikonversi menjadi *benzene* dan *paraxylene*. Dua mol *toluene* menjadi satu *benzene* dan satu *paraxylene*, adapun *flowsheet* dasar dari proses disproporsionasi *toluene* dapat dilihat pada Gambar 1.3.



Gambar 1.3 Proses Disproporsionasi *Toluene*

Toluene (C_7H_8) yang merupakan bahan baku dengan kemurnian 97% dipompa menuju heat exchanger untuk dinaikkan hingga suhu 110 °C. Kemudian dari heat exchanger masuk kedalam *compressor* hingga tekanannya mencapai 21 atm dan suhunya pun naik menjadi 266,23 °C. Lalu dari *compressor*, suhu dinaikkan menggunakan HE hingga suhunya mencapai 470 °C agar sesuai dengan suhu dan tekanan pada reaktor. Umpan reaktor yang berupa gas yang bersuhu 470 °C dan tekanan 21 atm dimasukkan ke dalam reaktor *fixed bed multitube* yang

menggunakan katalis zeolite ZSM-5. Reaksi yang terjadi didalam reaktor adalah reaksi eksotermis :



Keluaran reaktor berupa *toluene*, *benzene* dan *paraxylene* dialirkan menuju Menara distilasi satu. Hasil bawah Menara distilasi satu berupa *paraxylene* (produk utama) dialirkan menuju tangki penyimpanan *paraxylene* untuk disimpan. Sedangkan hasil atas menara distilasi satu berupa *benzene* dialirkan menuju tangki penyimpanan.

Proses disproporsionasi *toluene* telah dikembangkan oleh beberapa perusahaan seperti *Mobil di Enichem Refinery* yang diberi nama MSTDP (*Mobil Selective Toluene Disproportionation Process*). Sedangkan, proses produksi *paraxylene* di Indonesia dilakukan oleh Pertamina yang menggunakan disproporsionasi *toluene* dengan proses UOP.

Tabel 1.4 Uji Ekomomi Awal Proses Disproporsionasi Toluene

| Bahan Baku | Berat Molekul | Harga (Rp/Kg) |
|---------------|---------------|---------------|
| Toluen 97% | 92,14 | 13.000 |
| Katalis ZSM-5 | 105,148 | 17.800 |
| Produk | | |
| Paraxylen 99% | 106,16 | 42.000 |
| Benzen 96% | 78,11 | 29.000 |

(Sumber : Alibaba, 2023)

Bahan baku :

$$\begin{array}{l}
 \text{Toluen (C}_7\text{H}_8) \qquad \qquad \qquad = 2 \text{ mol} \\
 \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad = 2 \text{ mol} \times 92,14 \text{ g/mol} \\
 \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad = 184,28 \text{ g} \\
 \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad = 0,184 \text{ kg} \\
 \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad = 0,184 \text{ kg} \times \text{Rp. } 13.000 \text{ /kg} \\
 \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad = \text{Rp. } 2.392 \\
 \\
 \text{Katalis (ZSM-5)} \qquad \qquad \qquad = 1 \text{ mol} \\
 \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad = 1 \text{ mol} \times 105,148 \text{ g/mol} \\
 \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad = 105,148 \text{ g}
 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,105 \text{ kg} \\
 &= 0,105 \text{ kg} \times \text{Rp. } 17.800 /\text{kg} \\
 &= \text{Rp. } 1.869
 \end{aligned}$$

Konversi Produk

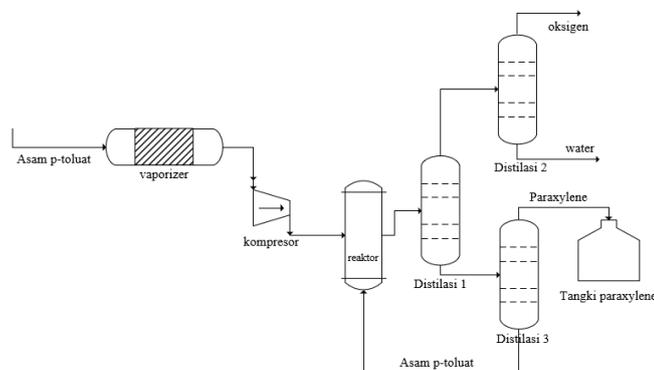
$$\begin{aligned}
 \text{Paraxylene (C}_8\text{H}_{10}\text{)} &= 1 \text{ mol} \\
 &= 1 \text{ mol} \times 106,16 \text{ g/mol} \\
 &= 106,16 \text{ g} \\
 &= 0,106 \text{ kg} \\
 &= 0,106 \text{ kg} \times \text{Rp } 42.000 /\text{kg} \\
 &= \text{Rp. } 4.452
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Benzene (C}_6\text{H}_6\text{)} &= 1 \text{ mol} \\
 &= 1 \text{ mol} \times 78,114 \text{ g/mol} \\
 &= 78,114 \text{ g} \\
 &= 0,078 \text{ kg} \\
 &= 0,078 \text{ kg} \times \text{Rp. } 29.000 /\text{kg} \\
 &= \text{Rp. } 2.262
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Analisa Ekonomi /mol} &= \text{Harga Produk} - \text{Harga Bahan Baku} \\
 &= (\text{Rp. } 4.452 + \text{Rp. } 2.262) - (\text{Rp. } 2.392 + \\
 &\quad \text{Rp. } 1.869) \\
 &= \text{Rp. } 2.453
 \end{aligned}$$

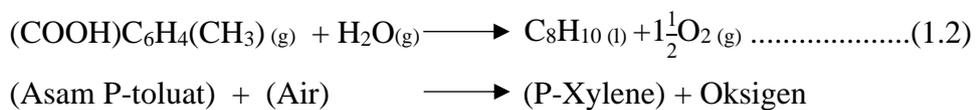
1.7.2 Proses Ekstraksi Aromatis (Extraction of aromatics)

Flowsheet dasar pembuatan *paraxylene* dengan proses ekstraksi aromatis dapat dilihat pada Gambar 1.4.



Gambar 1.4 Proses Ekstaksi aromatis

Asam P-toluat (COOH)C₆H₄(CH₃) yang merupakan bahan baku dengan kemurnian 97% dipompa dengan menggunakan pompa dari tangki bahan baku, kemudian menuju *vaporizer* untuk diuapkan. Kemudian dari *vaporizer* masuk kedalam *compressor* hingga tekanannya mencapai 10 atm dan suhunya pun naik menjadi 330 °C. Umpan reaktor yang berupa gas yang bersuhu 330 °C dan tekanan 10 atm dimasukkan ke dalam reaktor *fixed bed multitube non-adiabtic non-isothermal* yang menggunakan katalis zeolite ZSM-5. Reaksi yang terjadi didalam reaktor adalah reaksi eksotermis. Adapun reaksi yang terjadi pada proses ekstraksi aromatis adalah sebagai berikut :



Selanjutnya umpan dialirkan ke kondensor, umpan keluaran kondensor parsial dialirkan menuju menara distilasi pertama. Adapun tujuan dari menara distilasi Pertama untuk memisahkan bahan baku Asam P-toluat dan air serta produk yaitu *paraxylene* dan oksigen. Hasil atas distilasi 1 berupa asam water dan oksigen diumpankan menuju Menara distilasi 2, hasil atas Menara distilasi 2 berupa oksigen dan hasil bawah berupa water. Hasil bawah Menara distilasi 1 berupa asam p-toluat dan *paraxylene* di alirkan menuju distilasi 3, Dimana hasil atas Menara distilasi 3 berupa produk utama yaitu *paraxylene* yang dialirkan menuju tangki penyimpanan *paraxylene* dan hasil bawah berupa asam p-toluat yang di recycle ke reaktor.

Tabel 1.5 Uji Ekomomi Awal Proses Ekstaksi Aromatis

| Bahan Baku | Berat Molekul (g/mol) | Harga (Rp/Kg) |
|-------------------|------------------------------|----------------------|
| Asam P-Toluat | 172,20 | 40.000 |
| Katalis ZSM-5 | 105,148 | 17.800 |
| Produk | | |
| Paraxylen | 106,16 | 42.000 |
| Oksigen | 32 | 16.000 |

(Sumber : Alibaba, 2023)

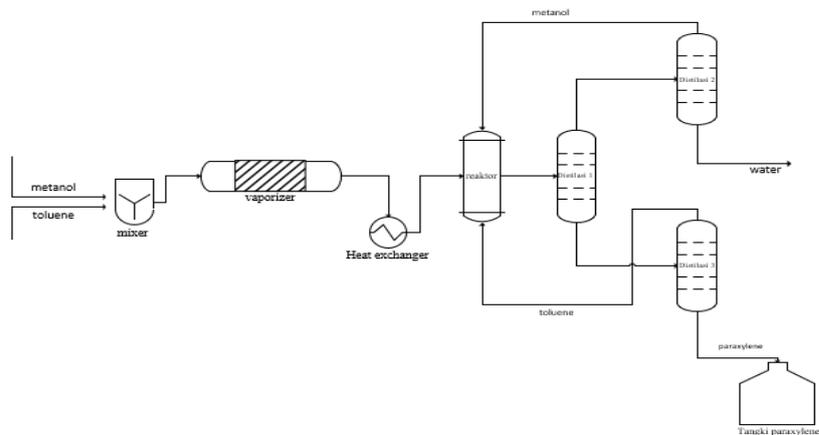
Bahan baku :

$$\begin{aligned} \text{Asam P-Toluat (COOH)C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3) &= 1 \text{ mol} \\ &= 1 \text{ mol} \times 172,20 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 172,20 \text{ g} \\
&= 0,172 \text{ kg} \\
&= 0,172 \text{ kg} \times \text{Rp. } 40.000 \text{ /kg} \\
&= \text{Rp. } 6.880 \\
\text{Katalis (ZSM-5)} &= 1 \text{ mol} \\
&= 1 \text{ mol} \times 105,148 \text{ g/mol} \\
&= 105,148 \text{ g} \\
&= 0,105 \text{ kg} \\
&= 0,105 \text{ kg} \times \text{Rp. } 17.800 \text{ /kg} \\
&= \text{Rp. } 1.869 \\
\text{Konversi Produk} & \\
\text{Paraxylene (C}_8\text{H}_{10}\text{)} &= 1 \text{ mol} \\
&= 1 \text{ mol} \times 106,16 \text{ g/mol} \\
&= 106,16 \text{ g} \\
&= 0,106 \text{ kg} \\
&= 0,106 \text{ kg} \times \text{Rp } 42.000 \text{ /kg} \\
&= \text{Rp. } 4.452 \\
\text{Oksigen (O}_2\text{)} &= 1 \text{ mol} \\
&= 1 \frac{1}{2} \text{ mol} \times 32 \text{ g/mol} \\
&= 48 \text{ g} \\
&= 0,048 \text{ kg} \\
&= 0,048 \text{ kg} \times \text{Rp. } 16.000 \text{ /kg} \\
&= \text{Rp. } 768 \\
\text{Analisa Ekonomi /mol} &= \text{Harga Produk} - \text{Harga Bahan Baku} \\
&= (\text{Rp. } 4.452 + \text{Rp. } 768) - (\text{Rp. } 6.880 + \\
&\quad \text{Rp. } 1.869) \\
&= - \text{Rp. } 3.529
\end{aligned}$$

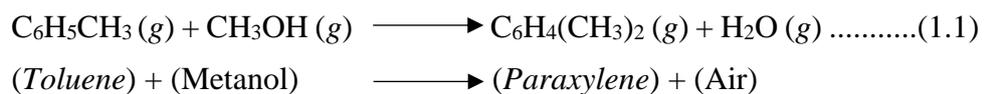
1.7.3 Proses Alkilasi *Toluene*

Alkilasi merupakan reaksi *toluene* dengan *methanol* umumnya disebut *methylasi* dari *toluene*, adapun *flowsheet* dasar pembuatan *paraxylene* dengan proses alkilasi *toluene* dapat dilihat pada Gambar 1.5.



Gambar 1.5 Proses Alkilasi *Toluene*

Alkilasi merupakan reaksi *toluene* dengan *methanol* umumnya disebut *methylasi* dari *toluene*. Sebelum dilakukan produksi, bahan baku *toluene* disimpan ditangki penyimpanan dalam fasa cair karena sifatnya yang *volatile* (mudah menguap) dengan suhu 25 °C bertekanan 1 atm. Selain bahan baku *toluene*, bahan baku *methanol* juga diperlukan pada prancangan pembuatan *paraxylene* ini. *Methanol* disimpan dalam tangki dalam fasa cair dengan suhu 25 °C bertekanan 1 atm. *Toluene* (C₇H₈) dalam fasa cair memiliki kemurnian 99% kemudian dipompakan ke *mixer* dengan tekanan 2,4 atm serta *methanol* dipompa dengan menggunakan pompa dari tangki bahan baku menuju *mixer* dengan tekanan 2,4 atm kemudian dialirkan menuju *vaporizer* untuk mengubanya menjadi gas dengan suhu 117,5 °C setelah fasa berubah menjadi gas lalu dialirkan menuju HE melalui aliran *shell* untuk menaikkan suhu menjadi 440 °C sebelum diisikan kedalam reaktor. Tipe reaktor yang digunakan adalah *multitube fixed bed reactor*. Dimana *multitube fixed bed reactor* ini merupakan jenis reaktor kimia dalam keadaan banyak *fase* baik cair dan gas yang dialirkan melalui katalis padatan ZSM-5. Reaksi yang terjadi dalam reaktor adalah reaksi eksotermis. Berikut reaksi yang terjadi di dalam reaktor :



Kemudian umpan keluaran reaktor dialirkan menuju Menara Destilasi pertama. Adapun hasil atas Menara Destilasi Pertama berupa methanol dan air dan hasil bawah berupa *paraxylene* dan *toluene*. Hasil atas Menara distilasi pertama

dialirkan ke Menara distilasi dua untuk memisahkan air (produk samping) dan sisa methanol. Hasil atas Menara distilasi dua berupa methanol di recycle menuju reactor, dan hasil bawahnya air. Sedangkan hasil bawah Menara distilasi satu dialirkan menuju Menara distilasi tiga. Hasil atas Menara distilasi tiga berupa *toluene* di recycle menuju reactor dan hasil bawah berupa *paraxylene* (produk utama) disimpan pada tangka penyimpanan.

Proses alkilasi *toluene* ini dapat menghasilkan beberapa reaksi samping seperti kondensasi dan polimerisasi serta dealkilasi *toluene*. Beberapa produk samping yang mungkin terbentuk dari proses dealkilasi *toluene* yakni senyawa hidrokarbon ringan, senyawa oksigenasi dan senyawa aromatik lainnya. Hal ini tentu saja dapat menurunkan selektivitas dan kemurnian produk utama yang diinginkan dari proses alkilasi *toluene* yaitu *paraxylene*. Terlebih lagi jika reaksi samping tersebut terjadi maka diperlukan penambahan alat untuk pengolahan produk samping yang berdampak pula pada penambahan biaya.

Tabel 1.6 Uji Ekomomi Awal Proses Alkilasi Toluena

| Bahan Baku | Berat Molekul (g/mol) | Harga (Rp/Kg) |
|------------|-----------------------|---------------|
| Toluen | 92,14 | 13.000 |
| Metanol | 32,04 | 20.000 |
| Produk | | |
| Paraxylen | 106,16 | 42.000 |
| Air | 18 | 0 |

(Sumber : Alibaba, 2023)

Bahan baku :

$$\begin{aligned}
 \text{Toluen (C}_7\text{H}_8) &= 1 \text{ mol} \\
 &= 1 \text{ mol} \times 92,14 \text{ g/mol} \\
 &= 92,14 \text{ g} \\
 &= 0,092 \text{ kg} \\
 &= 0,092 \text{ kg} \times \text{Rp. } 13.000 /\text{kg} \\
 &= \text{Rp. } 1.196
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Metanol (CH}_3\text{OH)} &= 1 \text{ mol} \\
 &= 1 \text{ mol} \times 32,04 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

| | |
|---|---|
| | = 32,04 g |
| | = 0,032 kg |
| | = 0,032 kg x Rp 20.000 /kg |
| | = Rp. 640 |
| Katalis (ZSM-5) | = 1 mol |
| | = 1 mol x 105,148 g/mol |
| | = 105,148 g |
| | = 0,105 kg |
| | = 0,105 kg x Rp. 17.800 /kg |
| | = Rp. 1.869 |
| Konversi Produk | |
| <i>Paraxylene</i> (C ₈ H ₁₀) | = 1 mol |
| | = 1 mol x 106,16 g/mol |
| | = 106,16 g |
| | = 0,106 kg |
| | = 0,106 kg x Rp 42.000 /kg |
| | = Rp. 4.452 |
| Air (H ₂ O) | = 1 mol |
| | = 1 1/2 mol x 18,02 g/mol |
| | = 18,02 g |
| | = 0,018 kg |
| | = 0,018 kg x Rp. 0/kg |
| | = Rp. 0 |
| Analisa Ekonomi /mol | = Harga Produk – Harga Bahan Baku |
| | = Rp. 4.452 - (Rp. 1.196 + Rp. 640 + Rp. 1.869) |
| | = Rp. 747 |

1.7.4 Perbandingan Proses Pembuatan *Paraxylene*

Berdasarkan ketiga proses diatas yaitu proses ekstraksi Aromatis, alkilasi *toluene* dan disproporsionasi *toluene*. Ketiga proses tersebut memiliki parameter yang berbeda-beda. Berdasarkan perbedaan parameter-parameter tersebut

perbandingan pembuatan *paraxylene* yang ada sebagaimana dilihat pada Tabel 1.7 berikut:

Tabel 1.4 Perbandingan Proses Pembuatan *Paraxylene*

| Parameter | Ekstraksi Aromatis | Alkilasi <i>Toluene</i> | Disproporsionasi <i>Toluene</i> |
|-----------------|--------------------------|---|---------------------------------|
| Bahan | Asam P-Toluat | <i>Toluene</i> dan Metanol | <i>Toluene</i> |
| Reaktor | <i>Fixed bed reactor</i> | <i>Fixed bed reactor</i> | <i>Fixed bed reactor</i> |
| Suhu Operasi | 330 °C | 400 – 480 °C | 470 °C |
| Tekanan Operasi | 10 atm | 2 – 3 atm | 21 atm |
| Katalis | ZSM-5 | ZSM-5 | ZSM-5 |
| Reaksi samping | Ada | Ada | Ada |
| Kemurnian | 85 % | 95 % | 99 % |
| Produk samping | O ₂ | H ₂ O, hidrokarbon ringan dan senyawa aromatik lainnya | C ₆ H ₆ |

(Sumber: Mc.Ketta, 1984)

Dari perbandingan ketiga proses diatas, maka dipilih proses disproporsionasi *toluene* sebagai proses produksi *paraxylene*, adapun keuntungan dari proses disproporsionasi *toluene* adalah :

1. Analisa ekonomi awal pada proses reaksi disproporsionasi *toluene* tidak mempunyai reaksi samping sedangkan reaksi alkilasi *toluene* mempunyai reaksi samping.
2. Reaksi disproporsionasi *toluene* mempunyai produk samping *benzene*, dan dalam hal ini *benzene* dapat diolah untuk dijual.

1.8 Tinjauan Kinetika

Tinjauan kinetika digunakan untuk mengetahui pengaruh suhu (T) terhadap konstanta kecepatan reaksi (k) khususnya reaksi disproporsionasi toluene. Adapun reaksi yang terjadi yaitu :



Reaksi disproporsionasi toluene merupakan reaksi orde dua, dengan persamaan kecepatan reaksi sebagai berikut:

$$-r_A = k C_A^2$$

Dimana :

k = konstanta kecepatan reaksi

C_A = konsentrasi awal

Menurut persamaan Arrhenius :

$$k = A e^{-E/RT}$$

Dalam hubungan ini :

k = konstanta kecepatan reaksi

A = factor frekuensi tumbukan

R = konstanta gas universal

E = energi aktivasi

T = temperature mutlak

Dari persamaan Arrhenius diatas, konstanta kecepatan reaksi (k) merupakan fungsi suhu (T), sehingga semakin tinggi temperature maka harga k semakin besar. Oleh karena itu dari tinjauan kinetika reaksi dipilih pada suhu yang tinggi.

1.9 Tinjauan Thermodinamika

Tinjauan thermodinamika berfungsi untuk mengetahui sifat reaksi berjalan secara eksotermis atau endotermis. Pada proses disproporsionasi *toluene* dilakukan pada suhu 445-470 °C dengan tekanan 21 atm. Ditinjau dari panas pembentukan ΔH_f° pada 298 °K, diketahui :

Tabel 1.5 Harga ΔH_f° Masing-masing Komponen

| Komponen | ΔH_f° (kJ/mol) |
|-------------|-----------------------------|
| C_7H_8 | 50,2 |
| C_8H_{10} | 18 |
| C_6H_6 | 49 |

(Sumber: Carl L. Yaws, 1999)

$$\Delta H_{\text{Reaksi}} = \sum \Delta H_f^\circ \text{ Produk} - \sum \Delta H_f^\circ \text{ Reaktan}$$

$$\Delta H_{\text{Reaksi}} = (\Delta H_f^\circ C_8H_{10} + \Delta H_f^\circ C_6H_6) - \Delta H_f^\circ C_7H_8$$

$$\Delta H_{\text{Reaksi}} = (18 \text{ kJ/mol} + 49 \text{ kJ/mol}) - 50,2 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_{\text{Reaksi}} = 67 \text{ kJ/mol} - 100,4 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_{\text{Reaksi}} = -33,4 \text{ kJ/mol}$$

Dari perhitungan diatas diketahui bahwa rekasi yang terjadi merupakan reaksi eksotermis karena harga entalpi yang didapat bersifat negatif sehingga reaksi melepaskan panas.

1.10 Penentuan Lokasi Pabrik

Dalam perencanaan suatu pabrik, penentuan lokasi suatu pabrik merupakan salah satu faktor utama dalam menentukan keberhasilan suatu pabrik. Oleh karena itu, pemilihan dan penentuan lokasi pabrik yang tepat merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam suatu perencanaan pabrik. Lokasi geografis dari suatu pabrik akan sangat berpengaruh pada kegiatan pabrik baik penyediaan bahan baku, proses produksi dan distribusi produk yang akan berpengaruh pada kelangsungan hidup dan perkembangan pabrik. Lokasi pabrik umumnya ditetapkan atas dasar orientasi bahan baku dan pasar sehingga dapat bersifat ekonomis. Dari pertimbangan-pertimbangan tersebut maka pabrik *paraxylene* akan didirikan di daerah Cikarang, Jawa Barat. Pemilihan lokasi di Cikarang didasarkan atas pertimbangan yang secara praktis menguntungkan dari segi ekonomis.

Terdapat dua jenis faktor yang mempengaruhi dalam menentukan lokasi pabrik adalah faktor primer dan faktor sekunder.

1.10.1 Faktor Primer Penentuan Lokasi Pabrik

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

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 di datangkan dari PT. Trans Pacific Petrochemical Indonesia, pemilihan ini mempertimbangkan karena lokasi atau posisinya tidak jauh dibandingkan dengan lokasi lainnya sehingga dapat lebih meminimalkan biaya.

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 plastic kimia lainnya, terutama *terephthalic acid* (TPA), *purified terephthalic acid* (PTA), dan *dimethyl terephthalate* (DMT). Ketiga nya digunakan untuk memproduksi *polyester polyeten terphthalate* (PET), salah satu jenis plastic. 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. Asia Pacific merupakan pasar terbesar untuk *paraxylene* dan diikuti oleh Negara-negara Eropa dan Amerika Utara. Asia Pacific dan sekitarnya (termasuk Amerika Latin, Timur tengah, dan Afrika) merupakan tempat pemasaran *paraxylene* yang pertumbuhannya cukup pesat, dimana telah dibuktikan dengan peningkatan permintaan yang diatas rata-rata pada beberapa tahun terakhir.

3. Ketersediaan energi dan air

Lokasi pabrik seharusnya dekat dengan sumber energi dan air, karena air merupakan kebutuhan yang sangat penting dalam suatu pabrik seperti dalam unit proses, pendingin, pemanas (steam), kebutuhan sanitasi maupun domestik dan kebutuhan-kebutuhan lainnya. Sumber air yang biasa digunakan berasal dari air laut, air sungai, dan air danau. Wilayah Cikarang, Jawa Barat dekat sungai cibeet. Sehingga sumber air untuk pengoperasian pabrik dapat di ambil dari air sungai.

4. Ketersediaan tenaga kerja

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

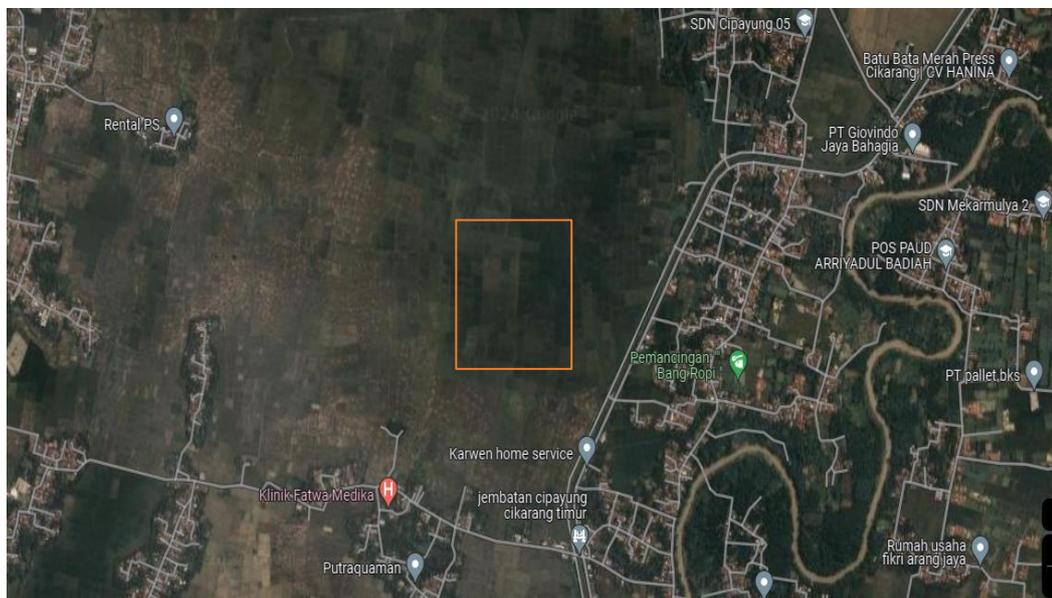
5. Kondisi geografis dan sosial

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

1.10.2 Faktor Sekunder Penentuan Lokasi Pabrik

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

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



Gambar 1.6 Lokasi Pabrik *Paraxylene*

(Sumber: Google Maps, 2024)