

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Industri merupakan salah satu sektor utama yang menarik minat banyak investor domestik. Pembangunan industri menjadi bagian integral dari upaya pembangunan nasional di Indonesia. Dalam pelaksanaannya, sektor industri dijadikan sebagai prioritas dengan harapan dapat berperan sebagai *leading sector* atau sektor pemimpin yang mendorong pertumbuhan sektor-sektor lainnya (Kambono dkk, 2024). Tujuan pembangunan sektor industri dalam jangka panjang tidak hanya berfokus pada penyelesaian permasalahan internal dan kelemahan industri, tetapi juga harus berkontribusi dalam mengatasi tantangan nasional. Industri diharapkan mampu menjalankan proses pengolahan bahan mentah atau barang setengah jadi menjadi produk akhir yang memiliki nilai tambah, sehingga dapat memberikan keuntungan ekonomi (Fasta dkk, 2025).

Salah satu sektor industri yang sangat berkembang pesat di Indonesia adalah sektor industri kimia. Industri kimia saat ini sedang dan terus berkembang secara luas dan hampir semua industri baik skala kecil maupun besar, pasti membutuhkan bahan baku kimia, baik untuk membuat produk setengah jadi ataupun produk jadi yang dapat dijual secara langsung ke konsumen. Kondisi itu pula yang menyebabkan impor bahan dan produk kimia masih tetap tinggi. Kelompok produk ini menjadi penyumbang defisit neraca perdagangan, terutama untuk kategori bahan baku dan penolong (Sari dkk, 2024). Salah satu bahan penunjang yang diperlukan dalam sektor industri kimia saat ini adalah Benzaldehida.

Benzaldehida adalah aldehida aromatik yang memiliki peran penting dalam berbagai sektor industri. Senyawa ini digunakan sebagai bahan baku dalam produksi pewarna, obat-obatan, dan parfum. Selain itu, benzaldehida juga berperan dalam industri elektroplating. Benzaldehida digunakan sebagai zat pengawet serta bahan baku pembuatan parfum karena memiliki bau yang khas. Senyawa ini juga dapat berkondensasi dengan asetaldehida (etanal) untuk

menghasilkan sinamaldehyda, yang dikenal sebagai minyak kayu manis dan banyak digunakan dalam industri makanan serta wewangian. Oleh karena itu, benzaldehyda merupakan bahan baku yang sangat penting bagi banyak industri lainnya. Benzaldehyda dapat diproduksi secara sintetis melalui berbagai metode, seperti oksidasi toluena, reaksi cabang klorinasi toluena ke benzal klorida disertai hidrolisis benzaldehyda, reaksi Sommelet, sintesis Gattermann-Koch, dan metode lainnya (Anugrah dan Sahrisi, 2020).

Adapun berbagai macam kegunaan Benzaldehyda antara lain (Trapalis dkk, 2003) :

1. Digunakan pada industri makanan dan minuman sebagai *flavoring agent* dan *odorant*.
2. Pada industri farmasi sebagai komposisi dalam bahan campuran atau tambahan sebagai *flavoring agent*. *Benzaldehyde* dan bahan kimia serupa terjadi secara alami dibanyak makanan. Sebagian besar *benzaldehyde* yang dimakan orang adalah dari makanan nabati alami, seperti almond. Benzaldehyda sintetis adalah zat penyedap dalam ekstrak almond imitasi, yang digunakan untuk membumbui kue dan makanan panggang lainnya.
3. Sebagai bahan pemberi aroma wangi dan segar pada industri sabun.
4. Pada industri parfum dan kosmetik sebagai *flavoring agent* seperti bau bunga-bunga atau buah-buahan yang harum dan sangat kuat.
5. Dapat digunakan sebagai solven untuk minyak, resin, ester dan eter.
6. Pada industri pertanian, sebagai bahan dasar pembuatan senyawa benzoat (herbisida).
7. Sebagai bahan intermediat pada pewarna, *benzylbenzoat* dan cinamicacid.
8. Sebagai bahan baku pada industri penil propil alkohol, penil aseton, penil aetaldehyd, asam maleat, *benzoic oxime*, dan sodium derivatif dari dipenil hidrotinat.

Melihat banyaknya manfaat dari benzaldehyda, pendirian pabrik benzaldehyda di dalam negeri akan memberikan dampak yang signifikan, terutama dalam mendukung pengembangan industri kimia. Saat ini, Indonesia belum memiliki pabrik benzaldehyda, sehingga seluruh kebutuhan masih dipenuhi

melalui impor dari negara lain. Dalam rangka mengurangi ketergantungan terhadap impor tersebut, pendirian pabrik benzaldehida menjadi suatu langkah yang perlu dilakukan. Keberadaan pabrik ini diharapkan dapat mendorong pertumbuhan perekonomian nasional serta membuka lapangan kerja baru bagi masyarakat sekitar, sehingga turut berkontribusi dalam menurunkan angka pengangguran.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam prarancangan pabrik benzaldehida ini adalah:

1. Bagaimana merancang pabrik benzaldehida dari toluena dan oksigen melalui proses oksidasi fasa uap secara teknis dan ekonomis?
2. Bagaimana menentukan kapasitas produksi, kondisi operasi, dan spesifikasi alat utama dalam proses produksi benzaldehida?
3. Bagaimana merancang sistem pendukung seperti utilitas, keselamatan kerja, dan pengelolaan limbah yang sesuai dengan standar industri kimia?
4. Bagaimana melakukan evaluasi kelayakan ekonomi terhadap pendirian pabrik benzaldehida di Indonesia untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri dan ekspor ?

## **1.3 Tujuan Prarancangan Pabrik**

Tujuan dari prarancangan pabrik benzaldehida ini adalah :

1. Sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan dan memperoleh gelar Sarjana Teknik Kimia.
2. Untuk mengaplikasikan ilmu Teknik Kimia dalam perancangan pabrik skala industri.
3. Untuk mengetahui kelayakan teknis, operasional, dan ekonomis dari proses produksi benzaldehida dari toluena.
4. Untuk menyusun dokumen prarancangan pabrik yang dapat dijadikan referensi dalam pembangunan pabrik benzaldehida di Indonesia.

#### 1.4 Manfaat Prarancangan Pabrik

Manfaat dari prarancangan pabrik benzaldehida ini adalah :

1. Menjadi sarana penerapan ilmu Teknik Kimia dalam bentuk studi perancangan pabrik industri.
2. Mengurangi ketergantungan impor benzaldehida melalui pemanfaatan potensi produksi dalam negeri.
3. Memberikan kontribusi terhadap peningkatan devisa negara melalui peluang ekspor produk.
4. Mendorong pertumbuhan industri kimia hilir dan menciptakan lapangan kerja baru.

#### 1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah di dalam penyusunan dan penyelesaian tugas prarancangan pabrik benzaldehida ini yaitu:

1. Bahan baku yang digunakan adalah toluena dan oksigen, dengan katalis vanadium oksida ( $V_2O_5$ ) dan suhu reaktor 350 °C.
2. Proses yang dirancang adalah kondisi tunak (*steady-state*), tidak mencakup dinamika proses.
3. Cakupan perancangan meliputi *hysys*, *flowsheet*, neraca massa dan energi, perancangan alat utama, sistem utilitas, analisis ekonomi, dan aspek keselamatan kerja.

#### 1.6 Penentuan Kapasitas Pabrik

Penentuan kapasitas pabrik benzaldehida didasarkan pada evaluasi permintaan pasar, ketersediaan bahan baku, teknologi produksi, serta faktor ekonomi. Skala produksi ditentukan dengan mempertimbangkan proyeksi kebutuhan industri pengguna dan potensi ekspor. Ketersediaan toluena dan oksigen sebagai bahan baku harus dipastikan melalui pemasok yang memiliki kapasitas dan keandalan tinggi, seperti PT. Pertamina Cilacap, PT. Styrimo Mono Indonesia, PT. Samator Gas Industri, dan PT. Trans Pacific Petrochemical Indotama (TPPI), yang merupakan produsen utama toluena di Indonesia.

PT. Trans Pacific Petrochemical Indotama memiliki kapasitas produksi hingga 500.000 ton per tahun, sehingga mampu mendukung keberlanjutan pasokan bahan baku dalam proses produksi benzaldehida. Selain itu, pemilihan teknologi produksi yang optimal bertujuan untuk meningkatkan efisiensi, menekan biaya operasional, serta meminimalkan dampak lingkungan (Putu, 2018). Perancangan kapasitas pabrik juga merujuk pada data produksi pabrik benzaldehida yang telah beroperasi di berbagai negara, dengan kapasitas produksi berkisar antara 60 hingga 520 ton per tahun yang dapat dilihat pada Tabel 1.1

**Tabel 1.1** Kapasitas Pabrik Benzaldehida di Berbagai Negara

| No. | Nama Pabrik                                  | Kapasitas Produksi (Ton/Tahun) |
|-----|----------------------------------------------|--------------------------------|
| 1.  | Orchid Chemical Supplies.,Ltd                | 300.000                        |
| 2.  | Anhui Heibei Import dan Export Co.,Ltd       | 500.000                        |
| 3.  | Hefei J dan S Import-Export Trading C.,Ltd   | 60.000                         |
| 4.  | Hangzhou Lin'an Yaoshi Coal Industry Co.,Ltd | 520.000                        |
| 5.  | Guangzhou Renouw Chemical Co.,Ltd            | 120.000                        |
| 6.  | Guangzhou Shiny Co.,Ltd                      | 240.000                        |
| 7.  | Taizhou Songke Mould Co.,Ltd                 | 520.000                        |

(Sumber: USDA Economis Research, 2024)

Berdasarkan Tabel 1.3 kapasitas produksi benzaldehida bervariasi di berbagai pabrik benzaldehida yang ada di dunia. Data menunjukkan variasi kapasitas produksi benzaldehida antar pabrik. Beberapa pabrik seperti Hangzhou Lin'an Yaoshi Coal Industry Co., Ltd dan Taizhou Songke Mould Co., Ltd memiliki kapasitas tinggi (520.000 ton/tahun), sementara yang lain seperti Hefei J dan S Import-Export Trading C.,Ltd memiliki kapasitas rendah (60.000 ton/tahun) dalam industri benzaldehida.

#### 1.6.1 Kebutuhan Benzaldehida di Indonesia

Benzaldehida merupakan aldehida aromatik yang tersusun dari cincin benzena dan gugus formil, dikenal karena aroma almondnya yang khas. Senyawa ini merupakan salah satu bahan kimia industri yang paling serbaguna, berperan penting dalam berbagai aplikasi. Benzaldehida tidak hanya ditemukan sebagai

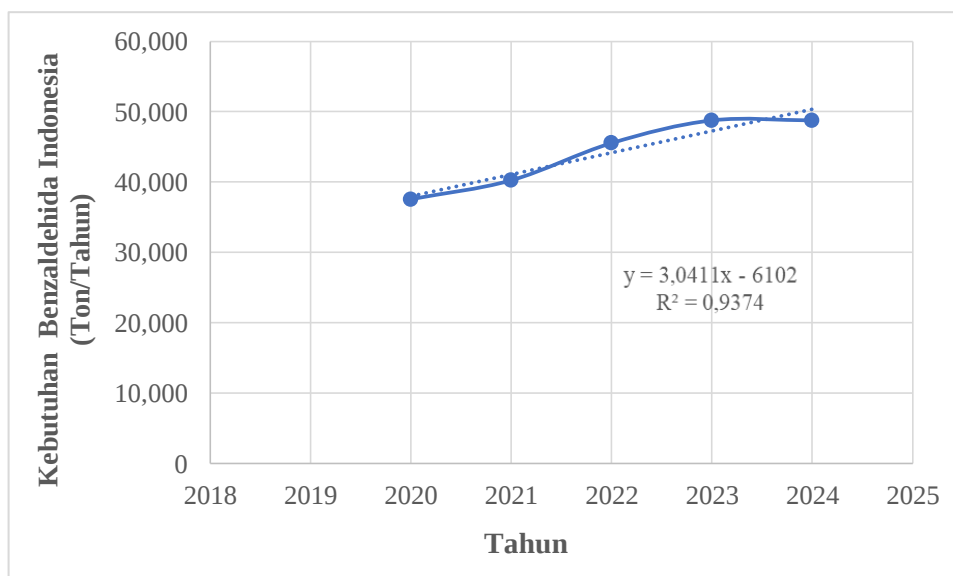
komponen utama minyak almond pahit, tetapi juga dapat diekstraksi dari sumber alami lainnya (Anugrah dan Sahrasi, 2020). Berikut data ekspor dan impor benzaldehida dari Badan Pusat Statistik di Indonesia dari tahun 2020 sampai 2024 dapat dilihat pada Tabel 1.2

**Tabel 1.2** Data Kebutuhan Impor Benzaldehida di Indonesia

| No. | Tahun | Jumlah Impor (Ton/Tahun) |
|-----|-------|--------------------------|
| 1.  | 2020  | 37.556                   |
| 2.  | 2021  | 40.241                   |
| 3.  | 2022  | 45.529                   |
| 4.  | 2023  | 48.248                   |
| 5.  | 2024  | 48.758                   |

(Sumber : Badan Pusat Statistik, 2025)

Dalam kurun waktu 5 tahun terakhir terdapat kenaikan kebutuhan Benzaldehida dalam negeri. Adapun grafik hubungan antara tahun dengan kebutuhan impor Benzaldehida di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 1.1



**Gambar 1.1** Grafik Hubungan Antara Tahun Vs Kebutuhan Benzaldehida Indonesia

Gambar 1.1 menunjukkan kebutuhan akan benzaldehida dari tahun 2019-2029 mengalami peningkatan. Untuk memenuhi kebutuhan benzaldehida di Indonesia, negara harus mengimpor tiap tahunnya seperti yang terlihat diatas.

Pabrik benzaldehida ini direncanakan beroperasi pada tahun 2029, maka untuk mendapatkan kebutuhan benzaldehida pada Tahun 2029 dapat dihitung menggunakan persamaan garis lurus pada Persamaan 1.1

$$y = 3,0411x - 6102 \dots\dots\dots(1.1)$$

Keterangan:

y = Kebutuhan benzaldehida di Indonesia

x = tahun ke-x

Berdasarkan persamaan tersebut, maka dapat diketahui kebutuhan benzaldehida di Indonesia pada tahun 2029 menggunakan persamaan 1.2

$$y = 3,0411x - 6102$$

$$y = 3,0411(2029) - 6102$$

$$y = 68.391$$

Kebutuhan benzaldehida dari tahun 2025-2029 berdasarkan ekstrapolasi menggunakan Persamaan 1.1 dapat dilihat pada Tabel 1.3

**Tabel 1.3** Data Hasil Ekstrapolasi Kebutuhan Impor Benzaldehida di Indonesia

| <b>Tahun</b> | <b>Jumlah (Ton/Tahun)</b> |
|--------------|---------------------------|
| 2025         | 56.227                    |
| 2026         | 59.268                    |
| 2027         | 62.309                    |
| 2028         | 65.350                    |
| 2029         | 68.391                    |

### 1.6.2 Kebutuhan Benzaldehida di Singapura

Kebutuhan benzaldehida tidak hanya terbatas pada pasar domestik di Indonesia, tetapi juga mencakup negara tujuan ekspor sebagaimana tercantum dalam Tabel 1.4

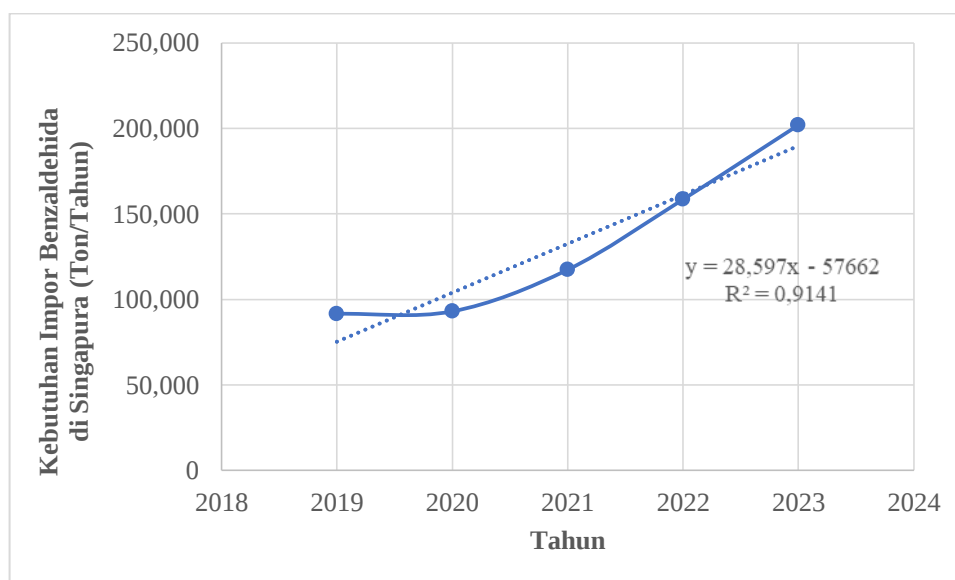
**Tabel 1.4** Kebutuhan Benzaldehida di Singapura

| <b>No.</b> | <b>Tahun</b> | <b>Jumlah Impor (Ton/Tahun)</b> |
|------------|--------------|---------------------------------|
| 1.         | 2019         | 91.589                          |
| 2.         | 2020         | 93.016                          |
| 3.         | 2021         | 117.334                         |

|    |      |         |
|----|------|---------|
| 4. | 2022 | 158.440 |
| 5. | 2023 | 201.863 |

(Sumber : World Integrated Trade Solution (WITS), 2025)

Analisis kebutuhan ekspor dilakukan dengan pendekatan regresi linear menggunakan data historis lima tahun terakhir. Adapun grafik permintaan benzaldehida untuk masing-masing negara dapat dilihat pada Gambar 1.2



**Gambar 1.2** Grafik Hubungan Antara Tahun Vs Kebutuhan Impor Benzaldehida di Singapura

Kebutuhan benzaldehida dari tahun 2024-2029 berdasarkan ekstrapolasi menggunakan Persamaan pada Gambar 1.2 dapat dilihat pada Tabel 1.5

**Tabel 1.5** Data Hasil Ekstrapolasi Kebutuhan di Singapura

| Tahun | Jumlah (Ton/Tahun) |
|-------|--------------------|
| 2024  | 218.328            |
| 2025  | 246.925            |
| 2026  | 275.522            |
| 2027  | 304.119            |
| 2028  | 332.716            |
| 2029  | 361.313            |

Pabrik ini direncanakan mulai beroperasi pada tahun 2029 dengan kapasitas produksi sebesar 120.000 ton/tahun. Kapasitas tersebut diperkirakan cukup untuk memenuhi kebutuhan benzaldehida di Indonesia yang mencapai sekitar 68.391 ton pada tahun yang sama. Sisa produksi, yaitu sekitar 51.609 ton per tahun akan diekspor ke Singapura.

1) Kebutuhan benzaldehida di Singapura pada tahun 2029 = 361.313 ton/tahun

2) Rencana ekspor Benzaldehida (sisa produksi) = 51.609 ton/tahun

Ekspor ini akan memenuhi sekitar 14,28% kebutuhan di Singapura, didapat dari :

$$A = \frac{\text{Sisa produksi Benzaldehida di Indonesia}}{\text{Kebutuhan Benzaldehida di Singapura}} \times 100\% \dots\dots\dots (1.1)$$

3) Kebutuhan Benzaldehida di Indonesia dari % Produksi :

$$\begin{aligned} \% \text{ Produksi Indonesia} &= \frac{\text{Kebutuhan Benzaldehida di Indonesia}}{\text{Total Produksi}} \times 100\% \dots (1.2) \\ &= \frac{68.391}{120.000} \times 100\% \\ &= 56,99 \% \end{aligned}$$

4) Maka, persentase ekspor benzaldehida ke Singapura adalah sebesar :

$$\begin{aligned} \% \text{ Ekspor Benzaldehida ke Singapura} &= (100 - 56,99) \% \\ &= 43,01 \% \end{aligned}$$

Penetapan kapasitas ini didasarkan pada hasil perhitungan kebutuhan benzaldehida dalam negeri dan luar negeri yang tercantum pada Tabel 1.3 dan 1.5. Dengan kapasitas 120.000 ton/tahun diharapkan pabrik dapat menjamin ketersediaan produk untuk pasar domestik maupun ekspor.

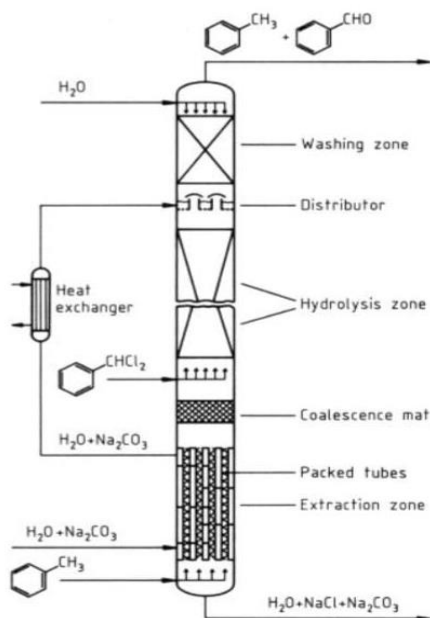
## 1.7 Seleksi Pemilihan Proses

Pemilihan proses produksi dalam suatu pabrik kimia merupakan tahap krusial yang menentukan efisiensi dan kualitas hasil produksi. Secara umum proses utama dalam pabrik kimia terdiri dari tiga sistem utama yaitu sistem reaksi, sistem pemisahan, dan sistem pemurnian. Sistem reaksi berperan dalam mengubah bahan baku menjadi produk sedangkan sistem pemisahan dan pemurnian bertujuan untuk memperoleh produk dengan kemurnian yang

diinginkan. Menurut Ullmann (1989), terdapat berbagai metode yang dapat digunakan dalam proses pembuatan benzaldehida di antaranya :

### 1.7.1 Proses Klorinasi Toluena

Proses klorinasi toluena merupakan salah satu metode yang digunakan dalam sintesis senyawa turunan toluena melalui reaksi dengan gas klorin ( $\text{Cl}_2$ ) sebagai reaktan tambahan dan natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) sebagai katalis. Reaksi ini berlangsung pada tekanan atmosfer yang bersifat eksotermis, artinya melepaskan panas ke lingkungan, sehingga kebutuhan energi untuk pemanasan relatif rendah. Produk utama dari proses ini adalah senyawa klorotoluena, dan hasil samping yang signifikan adalah asam klorida ( $\text{HCl}$ ) (Mc.Ketta, 1976). Mekanisme reaksi serta diagram alur dari proses klorinasi toluena dapat dilihat pada Gambar 1.3.

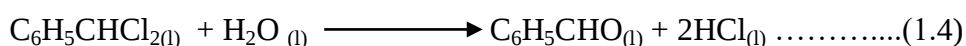


**Gambar 1.3** Proses Klorinasi Toluena (Ullman, 1989)

Gambar 1.3 merupakan uraian proses pembentukan benzaldehida melalui proses klorinasi toluena. Uraian prosesnya dimulai dari bahan dasar yang digunakan dalam pembuatan benzaldehida dengan proses klorinasi, yaitu toluena dan klorin. Terlebih dahulu toluena diubah menjadi benzal klorida dengan mengalirkan klorin ke dalam toluena dengan suhu  $110^\circ\text{C}$ . Dalam proses ini terjadi reaksi sebagai berikut:



Proses terjadi secara eksotermis dan selama proses klorinasi tersebut dihasilkan juga hidrogen klorida. Kemudian, benzal klorida yang dihasilkan dimasukkan ke dalam reaktor dengan ditambahkan air dan beberapa asam atau basa dan dihasilkan benzaldehida mentah. Adapun produk samping dari proses ini yaitu asam benzoat dan benzoil klorida. Selain menghasilkan HCl sebagai produk samping utama, proses klorinasi toluena juga berpotensi menghasilkan benzal klorida akibat reaksi lanjut benzaldehida dengan klorin. Selain itu, benzaldehida dapat mengalami oksidasi lanjut membentuk asam benzoat, terutama jika terdapat oksigen di lingkungan reaksi. Oleh karena itu, kontrol kondisi reaksi sangat penting untuk meminimalkan pembentukan produk samping yang tidak diinginkan. Selanjutnya, benzaldehida dipisahkan dan dimurnikan dengan proses distilasi menggunakan kolom fraksinasi untuk mendapatkan produk akhir berupa benzaldehida dengan kemurnian kurang lebih dengan kemurnian produk 98% dan menghasilkan tingkat konversi toluena sebesar 95% (Furniss dkk, 1996). Adapun reaksi lanjutan sebagai berikut:



**Sumber :** (Ullmann, 1989)

Proses Klorinasi ini memiliki analisa ekonomi awal yang cukup tinggi. Klorinasi toluena fase cair kurang disukai di industri yang menitik beratkan pada aroma maupun rasa (*flavor and taste*) seperti industri makanan dan minuman serta parfum (Bruhne dkk, 2005).

**Tabel 1.6** Harga Bahan Baku dan Produk

| No. | Bahan Baku dan Produk      | Berat Molekul<br>(Kg/mol) | Harga<br>(Rp/Kg) |
|-----|----------------------------|---------------------------|------------------|
| 1.  | Benzaldehida               | 106,12                    | 80.000           |
| 2.  | Toluena                    | 92,14                     | 18.500           |
| 3.  | Klorin                     | 70,90                     | 480,546          |
| 4.  | Katalis Natrium Hidroksida | 39,997                    | 5.011            |

(**Sumber:** PT TPPI, 2024; *Chemanalyst*, 2025)

**Bahan Baku**

- a. Toluena  $= 0,09214 \text{ Kg/mol} \times \text{Rp. } 18.500/\text{kg} \times 1 \text{ mol}$   
 $= \text{Rp. } 1.704,59$
- b. Klorin  $= 0,0709 \text{ Kg/mol} \times \text{Rp. } 480,546/\text{Kg} \times 1 \text{ mol}$   
 $= \text{Rp. } 34,07071$
- c. Katalis NaOH  $= 0,039997 \text{ Kg/mol} \times \text{Rp. } 5.011/\text{Kg} \times 1 \text{ mol}$   
 $= \text{Rp. } 200,424967$

**Produk**

- a. Benzaldehida  $= 0,10612 \text{ Kg/mol} \times \text{Rp. } 80.000 / \text{Kg} \times 1 \text{ mol}$   
 $= \text{Rp. } 8.489,6$
- Analisa Ekonomi  $= \text{Harga Produk} - \text{Harga Bahan Baku}$   
 $= \text{Rp. } 8.489,6 - \text{Rp. } 1.939,08$   
 $= \text{Rp. } 6.550,52$
- % Keuntungan  $= \frac{\text{Rp. } 6.550,52}{\text{Rp. } 1.939,08} \times 100\% = 3,37\%$

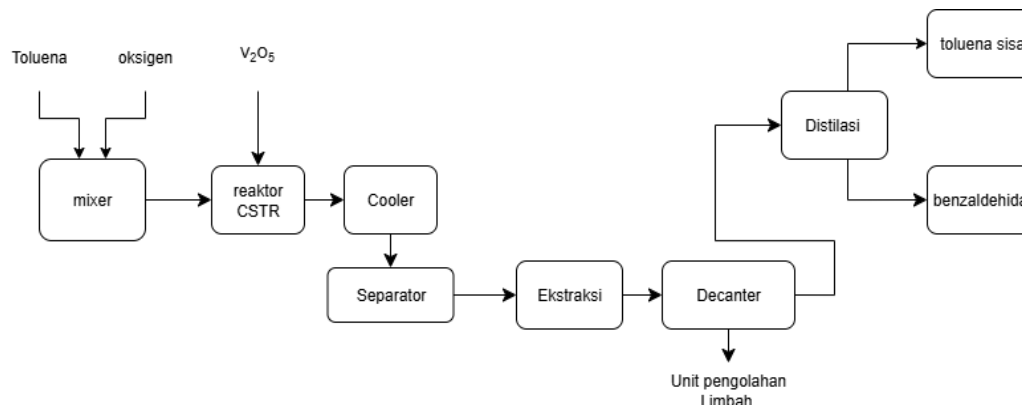
**1.7.2 Proses Oksidasi Toluena**

Oksidasi toluena merupakan salah satu metode yang umum digunakan dalam produksi benzaldehida. Proses ini melibatkan reaksi antara toluena dan oksigen dengan bantuan katalis serta kondisi operasi tertentu untuk menghasilkan benzaldehida sebagai produk utama (Ullmann, 1989). Reaksi tersebut dapat berlangsung dalam fase gas maupun fase cair, tergantung pada metode dan rancangan proses yang digunakan. Setiap metode memiliki karakteristik yang berbeda dalam hal efisiensi, selektivitas produk, serta kebutuhan energi, sehingga pemilihannya harus disesuaikan dengan tujuan produksi dan pertimbangan teknis lainnya. Secara garis besar, proses oksidasi toluena terbagi menjadi dua berdasarkan fasanya, yaitu fase cair (*liquid phase*) dan fase gas (*gas phase*). Adapun uraian dari masing-masing proses tersebut dijelaskan sebagai berikut:

**a. Proses Oksidasi Toluena Fasa Liquid**

Proses oksidasi toluena dalam fase cair menggunakan katalis homogen berupa Vanadium Pentoksida ( $\text{V}_2\text{O}_5$ ) yang dijalankan di dalam reaktor pada

tekanan operasi sekitar 3 atm (Satterfield, 1991). Mekanisme reaksi serta diagram alir dari proses ini dapat dilihat pada Gambar 1.4.



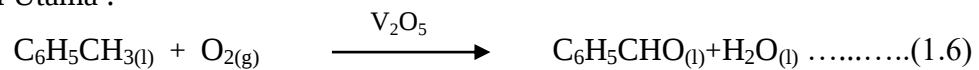
**Gambar 1.4** Proses Oksidasi Toluena Fase Cair (Ullman, 1989)

Tahapan awal proses dimulai dari pencampuran toluena dan oksigen dalam unit mixer untuk membentuk campuran yang homogen. Campuran tersebut kemudian dialirkan ke dalam reaktor tempat berlangsungnya reaksi oksidasi yang menghasilkan benzaldehida sebagai produk utama. Produk yang keluar dari reaktor dialirkan menuju unit pendingin (cooler) untuk menurunkan suhu, kemudian diteruskan ke unit pemisah (separator) guna memisahkan komponen gas dari fase cair. Fase cair hasil pemisahan, yang mengandung benzaldehida, sisa toluena, serta produk samping lainnya, selanjutnya diproses dalam unit ekstraksi. Pemisahan dalam tahap ini didasarkan pada perbedaan kelarutan masing-masing senyawa. Hasil ekstraksi kemudian masuk ke dalam decanter untuk memisahkan dua fase cair yang tidak saling larut, yaitu fase organik (mengandung toluena dan benzaldehida) dan fase polar berupa air (Satterfield, 1991).

Fase organik yang diperoleh kemudian dialirkan ke unit distilasi untuk memisahkan benzaldehida sebagai produk utama dari toluena yang belum bereaksi. Adapun fase air atau limbah yang berasal dari decanter dialirkan ke unit pengolahan limbah agar memenuhi standar lingkungan sebelum dibuang. Meskipun proses ini hanya menghasilkan konversi toluena sekitar 40% dan kemurnian benzaldehida sekitar 80%, pendekatan ini tetap layak digunakan dalam skala industri karena menawarkan kestabilan operasi, kemudahan dalam pengendalian proses, serta risiko korosi yang lebih rendah dibandingkan proses

oksidasi fase gas. Reaksi oksidasi ini bersifat endotermis, artinya membutuhkan panas dari lingkungan, sehingga kebutuhan energi untuk pemanasan cukup besar. Sifat endotermis ini menyebabkan konsumsi energi yang lebih tinggi dibandingkan proses lainnya, yang perlu diperhitungkan dalam analisis ekonomi dan operasional. Adapun reaksi yang terjadi sebagai berikut :

Reaksi Utama :



**Sumber :** (Ullman, 1989)

Reaksi samping :



**Sumber :** (Satterfield, 1991)

Produk utama dari proses ini adalah asam benzoat, dan hasil samping utamanya adalah air ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Selain air ( $\text{H}_2\text{O}$ ), proses ini juga menghasilkan asam benzoat sebagai produk samping yang terbentuk akibat reaksi lanjut oksidasi benzaldehida. Oleh karena itu, pengendalian kondisi reaksi sangat penting untuk meminimalkan pembentukan asam benzoat dan meningkatkan selektivitas terhadap benzaldehida. Analisa ekonomi awal pada proses ini terhitung rendah (Witcoff dkk, 2013).

**Tabel 1.7** Harga Bahan Baku dan Produk

| No. | Bahan Baku dan Produk             | Berat Molekul<br>(gr/mol) | Harga<br>(Rp/Kg) |
|-----|-----------------------------------|---------------------------|------------------|
| 1.  | Toluena                           | 92,14                     | 18.500           |
| 2.  | Oksigen                           | 32                        | 117.355          |
| 3.  | Katalis <i>Vanadium Pentoxide</i> | 181,88                    | 16.697           |
| 4.  | Benzaldehida                      | 106,12                    | 80.000           |

(**Sumber:** PT TPPI, 2024; PT Samator, 2024; *Chemanalyst*, 2025)

#### **Bahan Baku**

- a. Toluena =  $0,09214 \text{ Kg/mol} \times \text{Rp. } 18.500/\text{kg} \times 1 \text{ mol}$   
= Rp. 1.704,59
- b. Oksigen =  $0,032 \text{ Kg/mol} \times \text{Rp. } 117.355/\text{Kg} \times 1 \text{ mol}$

$$\begin{aligned}
 &= \text{Rp. } 3.755,36 \\
 \text{c. Katalis } V_2O_5 &= 0,18188 \text{ Kg/mol} \times \text{Rp. } 16.697 \times 1 \text{ mol} \\
 &= \text{Rp. } 3.036,85 \\
 \text{Total} &= \text{Rp. } 8.496,80
 \end{aligned}$$

### **Produk**

$$\begin{aligned}
 \text{a. Benzaldehida} &= 0,10612 \text{ Kg/mol} \times \text{Rp. } 80.000/\text{Kg} \times 1 \text{ mol} \\
 &= \text{Rp. } 8.948,6 \\
 \text{Analisa Ekonomi} &= \text{Harga Produk} - \text{Harga Bahan Baku} \\
 &= \text{Rp. } 8.948,6 - \text{Rp. } 8.496,80 \\
 &= \text{Rp. } 451,8 \\
 \% \text{ Keuntungan} &= \frac{\text{Rp. } 451,8}{\text{Rp. } 8.948,80} \times 100\% = 5,04\%
 \end{aligned}$$

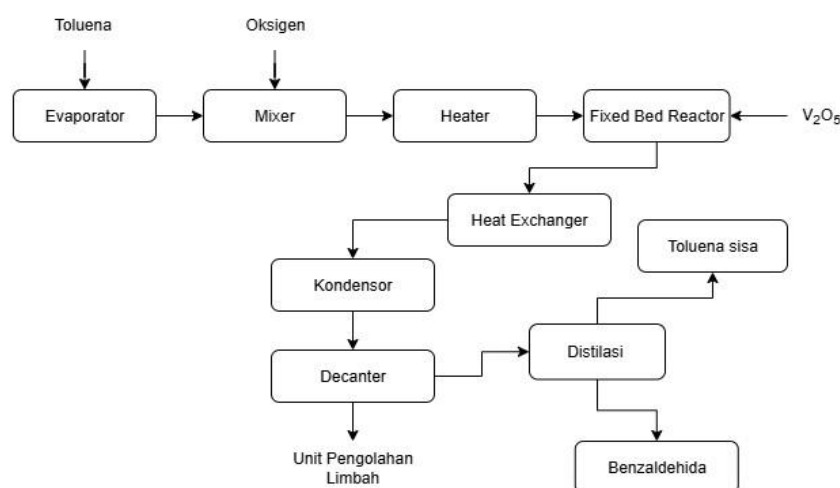
Pada Prosesnya Oksidasi Toluena Fase cair memiliki kelebihan dan kekurangan yaitu:

1. Pada proses Produksi untuk kapasitas kecil dan menengah lebih menguntungkan.
2. konversi yang dihasilkan pada proses oksidasi toluena fase cair adalah 40%, yang lebih rendah dibandingkan dengan proses oksidasi toluena fase uap yang mencapai 98%. Hal ini dikarenakan untuk proses fase waktu tinggal dari reaktor sedikit lebih lama dibandingkan oksidasi toluena fase uap sehingga memungkinkan untuk terjadinya reaksi lanjut yang lebih besar (Bruhne dkk, 2005).
3. Reaksi oksidasi toluena fase cair bersifat endotermis, sehingga memerlukan suplai energi panas dari luar secara terus-menerus, yang dapat meningkatkan konsumsi energi dan biaya operasional.

### **b. Proses Oksidasi Toluena Fase Uap**

Pada proses ini, toluene cair diuapkan menggunakan evaporator kemudian dialirkan ke mixer yang akan bercampur langsung dengan oksigen, dari *mixer* dialirkan ke *heater* untuk dipanaskan sebelum masuk ke reactor, kemudian mengalami oksidasi secara langsung dengan oksigen dalam fase gas

menggunakan reaktor *fixed bed*. Reaksi berlangsung pada suhu sekitar 350°C dengan tekanan atmosferik sehingga reaksi bersifat eksotermis, yang bertujuan untuk menekan biaya serta menyederhanakan desain peralatan. Sebagai katalis digunakan Vanadium Pentoksida ( $V_2O_5$ ), yang berfungsi mempercepat laju reaksi oksidasi sekaligus meningkatkan selektivitas terhadap pembentukan benzaldehida. Penggunaan katalis ini juga membantu menurunkan energi aktivasi sehingga reaksi dapat berlangsung lebih efisien dengan minimalisir pembentukan produk samping seperti asam benzoat. Setelah dari reaktor *fix bed* benzaldehida dialirkan ke *heat exchanger* untuk menurunkan suhunya sebelum memasuki tahap kondensasi. Aliran yang telah didinginkan kemudian masuk ke kondensor untuk diubah fasanya menjadi cair, selanjutnya dialirkan ke decanter untuk memisahkan fasa organik dan fasa cair. Fasa cair dialirkan ke unit pengolahan limbah sedangkan untuk fasa organik yang mengandung benzaldehida dan toluene diteruskan ke unit distilasi. Pada distilasi benzaldehida dipisahkan dan diambil sebagai produk utama, dan keluaran atas dari distilasi adalah toluene yang tidak bereaksi. Mekanisme serta diagram alur dari proses oksidasi toluena dapat dilihat pada Gambar 1.5.

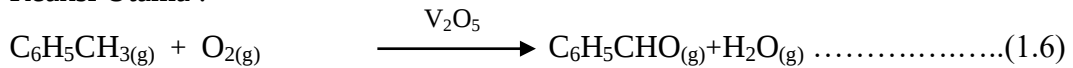


**Gambar 1.5** Proses Oksidasi Toluena Fase Uap (Ullman, 1989)

Konversi toluena yang dicapai dalam kondisi ini umumnya mencapai 98%, dengan kemurnian produk benzaldehida sekitar 98%. Kontrol suhu yang ketat menjadi faktor kritis untuk mencegah oksidasi berlebih dan pembentukan produk

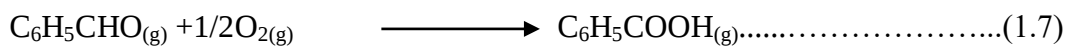
samping yang tidak diinginkan. Dari sisi ekonomi, proses ini dikategorikan sebagai proses dengan kebutuhan investasi awal yang relatif rendah (Ullmann, 1989).

Reaksi Utama :



**Sumber :** (Ullman, 1989)

Reaksi samping :



**Sumber :** (Satterfield, 1991)

**Tabel 1.8** Harga Bahan Baku dan Produk

| No. | Bahan Baku dan Produk             | Berat Molekul<br>(gr/mol) | Harga<br>(Rp/Kg) |
|-----|-----------------------------------|---------------------------|------------------|
| 1.  | Toluena                           | 92,14                     | 18.500           |
| 2.  | Oksigen                           | 32                        | 117.355          |
| 3.  | Katalis <i>Vanadium Pentoxide</i> | 181,88                    | 16.697           |
| 4.  | Benzaldehida                      | 106,12                    | 80.000           |

(**Sumber:** PT TPPI, 2024; PT Samator, 2024; *Chemanalyst*, 2025)

#### Bahan Baku

- a. Toluena = 0,09214 Kg/mol X Rp. 18.500/kg x 1 mol  
= Rp. 1.704,59
- b. Oksigen = 0,032 Kg/mol X Rp. 117.355/Kg x 1 mol  
= Rp. 3.755,36
- c. Katalis  $\text{V}_2\text{O}_5$  = 0,18188 Kg/mol X Rp. 16.697 x 1 mol  
= Rp. 3.036,85
- Total = Rp. 8.496,80

#### Produk

- a. Benzaldehida = 0,10612 Kg/mol X Rp. 80.000/Kg x 1 mol  
= Rp. 8.948,6
- Analisa Ekonomi = Harga Produk – Harga Bahan Baku  
= Rp. 8.948,6 – Rp. 8.496,80

$$= \text{Rp. } 451,8$$

$$\% \text{ Keuntungan} = \frac{\text{Rp. } 451,8}{\text{Rp. } 8.948,80} \times 100\% = 5,04\%$$

Pada Prosesnya Oksidasi Toluena Fase Uap memiliki Kelebihan dan kekurangan diantaranya sebagai berikut:

1. Reaksi berlangsung lebih cepat dan memberikan konversi yang tinggi, karena reaktan berada dalam fase gas sehingga mempercepat laju reaksi.
2. Proses ini sangat sesuai diterapkan untuk skala produksi besar, karena efisiensi konversi yang dicapai cukup tinggi.
3. Dibandingkan dengan proses oksidasi toluena fase cair, proses fase uap mampu menghasilkan konversi yang lebih tinggi.
4. Reaksi yang berlangsung bersifat eksotermis, sehingga menghasilkan panas yang dapat dimanfaatkan kembali dalam sistem, misalnya untuk pemanasan awal bahan baku, sehingga meningkatkan efisiensi energi secara keseluruhan.
5. Proses ini memerlukan sistem pendinginan yang dirancang khusus untuk menjaga kestabilan suhu reaksi, yang dapat menambah biaya investasi dan operasional (Young, 2005).

### 1.8 Perbandingan Proses

Adapun pemilihan atau seleksi dalam pemilihan proses yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1.9

**Tabel 1.9** Perbandingan Proses Pembuatan Benzaldehida

| Parameter  | Macam Proses          |                             |                           |
|------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|
|            | Proses Klorinasi      | Proses Oksidasi Fase Liquid | Proses Oksidasi Fase Uap  |
| Bahan Baku | - Toluena<br>- Klorin | - Toluena<br>- Oksigen      | - Toluena<br>- Oksigen    |
| Katalis    | Natrium Hidroksida    | <i>Vanadium pentoxide</i>   | <i>Vanadium pentoxide</i> |
| Tekanan    | 1 atm                 | 3 Atm                       | 1 Atm                     |

|                 |                                  |                                                   |                                     |
|-----------------|----------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Konversi        | 95%                              | 40%                                               | 98%                                 |
| Kemurnian       | 98%                              | 80%                                               | 98%                                 |
| Fasa            | Cair                             | Cair                                              | Uap                                 |
| Kebutuhan Panas | Sedikit karena reaksi eksotermis | Reaksi bersifat endotermis, kebutuhan panas besar | Reaksi eksotermis, melepaskan panas |
| Hasil Samping   | HCl                              | H <sub>2</sub> O dan asam benzoat                 | H <sub>2</sub> O dan asam benzoat   |
| Ekonomi Awal    | Tinggi                           | Lebih Rendah                                      | Lebih Rendah                        |

Dari Tabel 1.8 di atas dapat disimpulkan bahwa Proses Oksidasi Fase Uap menjadi pilihan terbaik untuk pembuatan benzaldehida karena menawarkan konversi tertinggi sebesar 98% dengan kemurnian produk 98% yang setara dengan proses klorinasi, hasil samping yang lebih ramah lingkungan berupa H<sub>2</sub>O, tekanan operasi yang lebih rendah (1 atm), serta kebutuhan panas yang besar namun tetap lebih efisien dibandingkan oksidasi fase cair. Proses ini mengungguli proses klorinasi yang menghasilkan HCl berbahaya dan proses oksidasi fase cair yang memiliki konversi dan kemurnian lebih rendah, serta kebutuhan panas yang lebih tinggi. Analisa ekonomi awal pada proses oksidasi fase uap terhitung rendah.

## 1.9 Pemilihan Lokasi Pabrik Benzaldehida

Pabrik benzaldehida direncanakan akan didirikan di Kawasan Industri Tuban, Jawa Timur, tepatnya di Kecamatan Kerek. Adapun dasar pertimbangan pemilihan lokasi pendirian pabrik adalah sebagai berikut:

### 1.9.1 Faktor Primer

Faktor yang secara langsung dapat mempengaruhi proses produksi dan distribusi. Faktor primer yang berpengaruh langsung dalam pemilihan lokasi pabrik meliputi:

### **1. Ketersediaan Bahan Baku**

Pabrik sebaiknya dibangun di dekat sumber bahan baku utama untuk mempermudah transportasi dan mengurangi biaya operasional. Bahan baku utama berupa toluena dapat diperoleh dari PT Trans-Pacific Petrochemical Indotama (TPPI), dan oksigen diperoleh dari PT. Samator Gas Industri yang berada di wilayah Jenu, Tuban, Jawa Timur. TPPI merupakan salah satu produsen petrokimia terbesar di Indonesia dan menyediakan toluena dengan kapasitas signifikan. Selain itu, air dan bahan penunjang lainnya seperti katalis juga tersedia di kawasan industri ini dan sekitarnya. Distribusi bahan baku dapat dilakukan melalui jalur darat maupun pipa industri.

### **2. Utilitas**

Utilitas seperti listrik, air, dan bahan bakar sangat penting dalam menunjang proses industri. Listrik diperoleh dari PLN dan dilengkapi dengan generator sebagai cadangan. Sumber air industri di Tuban berasal dari PDAM dan sumur dalam kawasan industri. Bahan bakar seperti solar dan gas juga tersedia dari Pertamina melalui jaringan distribusi yang telah terbangun di kawasan ini.

### **3. Letak Pasar**

Produk benzaldehida merupakan bahan baku penting dalam industri resin, parfum, farmasi, dan bahan kimia lainnya yang tersebar di Pulau Jawa. Tuban memiliki akses yang baik ke berbagai sentra industri di Jawa Timur, Jawa Tengah, dan Jawa Barat. Selain pasar domestik, produk juga memiliki potensi ekspor melalui Pelabuhan Laut Tuban dan pelabuhan ekspor energi di wilayah Gresik dan Lamongan.

### **4. Transportasi**

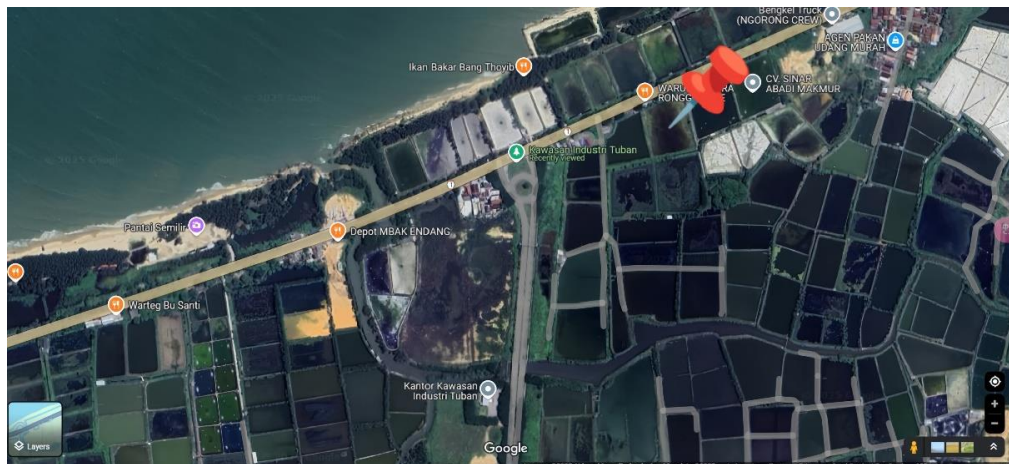
Akses transportasi dari dan menuju kawasan industri Tuban sangat memadai. Jalur pantura yang melintasi wilayah Tuban memungkinkan pengiriman bahan baku dan produk menggunakan moda darat. Selain itu, kedekatan dengan Pelabuhan Tuban dan pelabuhan petrokimia di Gresik memperkuat efisiensi distribusi laut. Pabrik ini juga dekat dengan rencana pengembangan pelabuhan industri baru yang akan mempercepat arus logistik bahan baku dan produk jadi.

## 5. Tenaga Kerja

Daerah Tuban dan sekitarnya memiliki ketersediaan tenaga kerja dengan latar belakang pendidikan teknis dan industri, terutama karena berkembangnya berbagai proyek migas dan petrokimia. Selain tenaga kerja lokal, kebutuhan tenaga kerja terampil juga dapat dipenuhi dari kota sekitar seperti Surabaya dan Lamongan. Biaya tenaga kerja di wilayah ini juga kompetitif dan terjangkau.

## 6. Keadaan Geografis dan Iklim

Tuban merupakan daerah dengan topografi datar dan iklim tropis dengan suhu rata-rata antara 24–32°C, mendukung operasi pabrik secara berkelanjutan. Selain itu, daerah ini jarang mengalami bencana alam besar seperti gempa bumi dan banjir, sehingga mendukung stabilitas kegiatan industri jangka panjang. Berikut peta pembangunan pabrik benzaldehida ini direncanakan didirikan di Kawasan Industri Tuban, Jawa Timur dapat dilihat pada Gambar 1.5



**Gambar 1.5** Lokasi Pabrik

### 1.9.2. Faktor Sekunder

Faktor sekunder tidak secara langsung berperan dalam proses operasional pabrik, tetapi berpengaruh terhadap kelancaran jangka panjang. Faktor-faktor sekunder tersebut meliputi:

#### 1. Perluasan Pabrik

Kawasan Industri Tuban masih memiliki ketersediaan lahan yang luas sehingga memungkinkan ekspansi atau perluasan pabrik di masa mendatang. Hal

ini penting untuk menjamin pertumbuhan kapasitas produksi sesuai peningkatan permintaan.

## **2. Perundang-undangan**

Pemerintah Kabupaten Tuban telah menetapkan kawasan industri sebagai wilayah dengan izin dan pengelolaan lingkungan yang mendukung investasi industri kimia. Proses perizinan, termasuk studi AMDAL, telah diatur untuk mendukung percepatan pembangunan industri strategis seperti pabrik benzaldehida. Dukungan masyarakat lokal juga terbangun seiring dengan potensi terbukanya lapangan pekerjaan dan peningkatan kesejahteraan.

## **3. Prasarana dan Fasilitas**

Kawasan ini memiliki akses terhadap berbagai fasilitas umum seperti rumah sakit, sekolah teknik dan kejuruan, perbankan, serta sarana ibadah. Adanya fasilitas tersebut akan menunjang kebutuhan sosial tenaga kerja dan meningkatkan kesejahteraan lingkungan sekitar pabrik.