

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Phthalic Anhydride (PA) merupakan bahan kimia fundamental yang memiliki peran krusial dalam berbagai sektor industri, terutama dalam produksi plastik, resin, dan poliester tak jenuh. Sebagai bahan baku utama dalam pembuatan *plasticizer*, PA berkontribusi dalam meningkatkan elastisitas serta daya tahan material plastik. Selain itu, senyawa ini juga memiliki peran signifikan dalam pembuatan resin alkid dan poliester tak jenuh yang digunakan secara luas dalam industri cat dan pelapis. Dengan mempertimbangkan tingginya permintaan dan ketersediaan bahan baku yang melimpah, pendirian pabrik PA di Indonesia menjadi suatu langkah strategis yang patut dipertimbangkan.

Penggunaan *Phthalic Anhydride* dalam industri sangat bervariasi, dengan sekitar 55% produksinya digunakan untuk *plasticizer*. Selain itu, 14% digunakan untuk produksi *Unsaturated Polyester Resin* (UPR), 15% untuk *alkyd resin*, dan sisanya sebesar 16% digunakan untuk berbagai aplikasi lainnya (Ullmann, 2002). *Plasticizer* sendiri merupakan bahan tambahan yang berfungsi meningkatkan fleksibilitas atau mengurangi viskositas suatu material, dengan jenis yang paling umum diproduksi adalah *Diocetyl Phthalate* (Kirk & Othmer, 2007).

Saat ini, kebutuhan *Phthalic Anhydride* dalam negeri sebagian besar masih bergantung pada impor. Satu-satunya produsen domestik, PT. Petrowidada Gresik, hanya mampu memproduksi sekitar 70.000 ton per tahun, sementara data dari Badan Pusat Statistik (BPS) yang diolah oleh Kementerian Perindustrian menunjukkan bahwa pada tahun 2019, Indonesia mengimpor hingga 54.223ton PA. Angka ini menunjukkan adanya kesenjangan antara kapasitas produksi dalam negeri dan tingkat konsumsi, sehingga industri domestik masih sangat bergantung pada pasokan luar negeri.

Pendirian pabrik *Phthalic Anhydride* di dalam negeri dapat memberikan berbagai manfaat strategis. Secara ekonomi, produksi domestik dapat mengurangi ketergantungan terhadap impor, sehingga menekan defisit neraca perdagangan dan

meningkatkan daya saing industri kimia nasional. Dari sisi industri, keberadaan pabrik PA dapat mendorong berkembangnya sektor-sektor yang bergantung pada bahan ini, seperti industri plastik, cat, serta resin. Selain itu, proyek ini juga berpotensi menciptakan lapangan kerja baru, baik dalam operasional pabrik maupun sektor pendukungnya, yang secara tidak langsung dapat membantu mengatasi masalah pengangguran di wilayah sekitarnya. Dari perspektif geopolitik dan logistik, Indonesia memiliki keuntungan strategis dengan lokasinya yang berada di pusat perdagangan Asia Tenggara dan Asia Timur. Kedekatan dengan pasar utama serta akses mudah ke jalur transportasi dan pelabuhan akan mendukung efisiensi distribusi produk, baik untuk pasar domestik maupun ekspor. Dengan demikian, selain memenuhi kebutuhan dalam negeri, produksi *Phthalic Anhydride* juga berpotensi menjadi komoditas ekspor yang dapat meningkatkan daya saing industri nasional di kancah global.

1.2 Kapasitas Rancangan

Dalam menentukan kapasitas produksi yang menguntungkan digunakan beberapa pertimbangan yaitu prediksi kebutuhan *Phthalic Anhydride* di Indonesia, ketersediaan bahan baku, dan ketentuan kapasitas minimum.

1.2.1 Proyeksi Kebutuhan Pasar

Permintaan terhadap *Phthalic Anhydride* di Indonesia dapat dihitung berdasarkan total kebutuhan domestiknya. Hingga tahun 2024, kebutuhan ini belum sepenuhnya terpenuhi, karena produksi dalam negeri masih terbatas. Saat ini, satu-satunya produsen *Phthalic Anhydride* di Indonesia adalah PT. Petrowidada, dengan kapasitas produksi tahunan sebesar 70.000 ton/tahun.

Data yang dikumpulkan dari Badan Pusat Statistik (BPS) menunjukkan adanya tren peningkatan kebutuhan *Phthalic Anhydride* dari tahun ke tahun. Kenaikan ini mencerminkan meningkatnya permintaan industri yang bergantung pada bahan baku tersebut. Untuk memahami lebih lanjut perkembangan kebutuhan *Phthalic Anhydride* di Indonesia dalam periode 2018 hingga 2022 menurut BPS (2024), dapat merujuk pada Tabel 1.1 di bawah ini.

Dari kondisi ini, dapat disimpulkan bahwa produksi domestik belum mampu mengimbangi pertumbuhan permintaan, yang berpotensi menimbulkan ketergantungan terhadap impor. Oleh karena itu, diperlukan strategi yang lebih komprehensif, baik melalui peningkatan kapasitas produksi dalam negeri maupun diversifikasi sumber pasokan.

Tabel 1. 1 Data Impor-Ekspor *Phthalic Anhydride* Tahun 2017-2022 (BPS, 2024)

Tahun	Impor	Ekspor	Pertumbuhan	
	(ton/Tahun)	(ton/Tahun)	Impor	Ekspor
2018	40,906.41	25,773.00	-	-
2019	54,223.27	15,166.00	0.33	-0.41
2020	42,795.61	24,180.00	-0.21	0.59
2021	46,102.79	14,080.00	0.08	-0.42
2022	54,098.96	16,235.00	0.17	0.15
Rata-rata Pertumbuhan			0.09	-0.02

Tabel 1. 2 Data Produksi-Konsumsi *Phthalic Anhydride* Tahun 2017-2022 (BPS, 2024)

Tahun	Produksi	Konsumsi	Pertumbuhan
	(ton/Tahun)	(ton/Tahun)	Konsumsi
2018	70,000.00	113,567.00	-
2019	70,000.00	121,011.71	0.07
2020	70,000.00	125,967.00	0.04
2021	70,000.00	136,177.69	0.08
2022	70,000.00	146,902.60	0.08
Rata-rata Pertumbuhan			0.07

1.2.2 Kapasitas yang Digunakan

Penentuan kapasitas pabrik *Phthalic Anhydride* dilakukan dengan mempertimbangkan kapasitas rata-rata pabrik *Phthalic Anhydride* di Indonesia. Dari data-data diatas, dapat dihitung data ekspor, impor, produksi dan konsumsi

pabrik *Phthalic Anhydride* yang akan mulai beroperasi pada tahun 2029 dengan menggunakan persamaan *disconted*, sebagai berikut:

$$m = P(1 + i)^n \text{ (Peters and Timmerhaus, 1996)}$$

Dimana :

m = jumlah produk pada tahun- tahun mendatang (ton/tahun)

P = data besarnya impor tahun terakhir (ton/tahun)

i = pertumbuhan rerata pertahun

n = selisih tahun

Perhitungan kapasitas produksi pabrik *Phthalic Anhydride* :

$$M(2029) = M(2029)(1 + i)^n$$

$$\text{Dimana } n = 2029-2024$$

$$= 5$$

a. Perkiraan konsumsi impor pada tahun 2029 (M2)

$$M2(2029) = 49575,47029$$

b. Perkiraan konsumsi ekspor pada tahun 2029 (M5)

$$M5(2029) = 0,008121357$$

c. Perkiraan konsumsi kebutuhan dalam negeri pada tahun 2029 (M4)

$$M4(2029) = 135538,8681$$

d. Peluang kapasitas produksi pada tahun 2029

$$\text{Kapasitas Kebutuhan Nasional/2029} = 65538,87618$$

Perhitungan Peluang Kapasitas Pendirian Pabrik *Phthalic Anhydride* (PA) Tahun 2029

Neraca massa peluang kapasitas:

$$M1+M2+M3+M4+M5$$

Keterangan :

M1= Nilai Produksi

M2= Nilai Perkiraan konsumsi impor 2029

M3= Nilai Perkiraan kapasitas 2029

M4= Nilai Perkiraan konsumsi kebutuhan dalam negeri 2029

M5= Nilai Perkiraan konsumsi ekspor pada tahun 2029

$$\text{Perhitungan peluang pabrik (M3)} = 85.963,41 \text{ Ton/Tahun}$$

Berdasarkan UU No. 5 tahun 1999 tentang Larangan Praktek Monopoli dan Persaingan Usaha Tidak Sehat, kapasitas pabrik hanya diambil 50% dari kapasitas sebenarnya. Sehingga kapasitas produksi Pabrik *Phthalic Anhydride* (PA) Tahun 2029 adalah :

$$\text{Kapasitas produksi maksimal} = \text{Perhitungan peluang pabrik (M3)} \times 50\%$$

$$\text{Kapasitas produksi maksimal} = 42.981,70295$$

$$\text{Kapasitas produksi maksimal} = 43.000 \text{ Ton/Tahun (Dibulatkan)}$$

1.2.3 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku pembuatan Phthalic Ahydride dengan reaksi oksidasi adalah *Ortho-xylene* dan oksigen. Untuk menghasilkan *Phthalic Anhydride* sebanyak 43.000 ton/tahun, maka kebutuhan *Ortho-xylene* dan oksigen ditentukan melalui perhitungan stoikiometri berdasarkan reaksi oksidasi. Berikut adalah perhitungan kebutuhan *Ortho-xylene* dan oksigen menurut stoikiometri reaksi oksidasi:

Perbandingan mol *O-Xylene* : mol Oksigen : Mol *Phthalic Anhydride*

$$\text{Mol } \textit{Phthalic Anhydride} = 43.000/148,1$$

$$= 290,3444 \text{ mol}$$

$$\text{Mol } \textit{O-Xylene} = 1 \times \text{Mol } \textit{Phthalic Anhydride}$$

$$= 290,3444 \text{ mol}$$

$$\text{Mol Oksigen} = 3 \times \text{Mol Phthalic Anhydride}$$

$$= 871,0331 \text{ mol}$$

$$\text{Kebutuhan O-Xylene} = 290,3444 \times 106 = 30.776,5 \text{ ton}$$

$$\text{Kebutuhan Oksigen} = 871,0331 \times 32 = 27.873,06 \text{ ton}$$

Guna kebutuhan bahan baku terpenuhi, *Ortho-Xylene* didapatkan dari industri dalam negeri yaitu PT. Trans Pasific Petrochemical Indotama. Sedangkan, katalis Vanadium Pentaoksida didapatkan dari Zibo Jiashitai *Chemical Technology Co., Limited* di China, sedangkan untuk oksigen diperoleh secara bebas di lokasi pabrik yang didirikan.

1.3 Penentuan Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik merupakan keputusan strategis yang harus mempertimbangkan berbagai faktor, termasuk sifat proses produksi. Dalam industri, proses produksi dapat dikategorikan sebagai *weight gain* atau *weight loss*. Jika suatu proses bersifat *weight gain*, dimana produk akhir memiliki massa lebih besar dibandingkan bahan bakunya misalnya dalam reaksi yang memanfaatkan air atau udara, maka lokasi yang lebih ideal yakni yang dekat dengan pasar. Hal ini disebabkan oleh efisiensi biaya transportasi, karena produk yang lebih berat akan menimbulkan biaya pengiriman yang lebih tinggi jika diproduksi jauh dari konsumen.

Sebaliknya, jika proses produksi bersifat *weight loss*, dimana produk akhirnya lebih ringan dibandingkan bahan baku misalnya reaksi yang menghasilkan produk sampingan berupa air atau gas yang dapat dibuang langsung ke lingkungan, maka lokasi yang lebih optimal yakni yang dekat dengan sumber bahan baku. Dengan demikian, biaya transportasi bahan baku dapat ditekan seminimal mungkin.

Dalam konteks produksi *Phthalic Anhydride*, proses ini termasuk dalam kategori *weight gain* karena produk akhirnya memiliki massa yang lebih besar dibandingkan dengan bahan baku setelah melalui serangkaian tahapan produksi. Oleh karena itu,

pemilihan lokasi pabrik harus mempertimbangkan aspek efisiensi transportasi serta biaya pembangunan yang paling ekonomis.

Saat ini, terdapat tiga lokasi potensial untuk pendirian pabrik *Phthalic Anhydride*, yaitu Cilegon, Tuban, dan Gresik. Ketiga wilayah ini memiliki keunggulan yang berbeda. Tuban menawarkan akses mudah terhadap bahan baku, sehingga dapat mengurangi biaya logistik dalam pengadaan material produksi. Sementara itu, Cilegon memiliki keunggulan dari sisi pemasaran, karena akses produk ke konsumen atau distributor lebih mudah dan infrastruktur transportasi lebih baik. Gresik berpotensi karena infrastruktur yang tersedia, akses yang mudah untuk kebutuhan listrik dan air. Selain itu, aspek biaya tenaga kerja juga menjadi pertimbangan penting dalam menentukan lokasi. Upah Minimum Regional (UMR) di Cilegon tercatat sebesar Rp5.128.084,48, sementara di Tuban sebesar Rp 3.050.400 dan di Gresik sebesar Rp4.874.133. Perbedaan ini dapat berdampak pada biaya operasional jangka panjang, terutama terkait dengan pengeluaran untuk tenaga kerja.

Dalam pemilihan lokasi pabrik, berbagai faktor tersebut harus dianalisis secara komprehensif menggunakan metode perbandingan berbasis matriks. Dengan demikian, keputusan yang diambil tidak hanya mempertimbangkan aspek ekonomi tetapi juga aspek teknis, logistik, dan keberlanjutan operasional dalam jangka panjang.

Tabel 1. 3 Tabel Matriks Penentuan Lokasi Pabrik

Kriteria	Cilegon	Tuban	Surabaya
Harga Tanah	2	4	4
Ketersediaan Bahan Baku	2	5	4
Transportasi	4	4	4
Tenaga Listrik	4	4	2
Air	4	4	2
Persediaan Tenaga Kerja	4	2	4
Lokasi pasar	5	2	2
Limbah	4	2	2
Fasilitas Perumahan	4	2	2
Kebijakan pemerintah daerah	4	4	2
Sistem pengupahan UMK	2	4	4
Total	39	37	36

*keterangan : Penilaian dari skala 1-5

Tabel 1.3 menjelaskan mengenai perbandingan beberapa lokasi yang potensial untuk pendirian pabrik *Phthalic Anhydride*. Berdasarkan kedua lokasi diatas, Cilegon memperoleh total skor tertinggi sehingga dipilih sebagai lokasi pendirian pabrik *Phthalic Anhydride*. Penentuan Cilegon sebagai lokasi pendirian pabrik didukung oleh faktor-faktor berikut:

1.3.1 Harga Tanah

Harga tanah di tiga daerah yang menjadi pertimbangan memiliki kisaran yang relatif serupa. Di Cilegon, harga tanah rata-rata mencapai Rp 4,0 juta per meter persegi, sementara di Tuban lebih rendah, yakni Rp 2,0 juta per meter persegi. Sementara itu, Gresik memiliki harga tanah tertinggi di antara ketiganya, yaitu sekitar Rp 4,5 juta per meter persegi. Dari segi biaya lahan, Gresik menjadi lokasi yang paling mahal, sehingga perlu pertimbangan lebih lanjut mengenai dampaknya terhadap biaya investasi awal.

1.3.2 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan utama dalam produksi *Phthalic Anhydride* adalah *Ortho-xylene*, yang dapat diperoleh dari PT. *Trans Pacific Petrochemical* Indotama yang berlokasi di Tuban. Sementara itu, kebutuhan oksigen dapat dipenuhi langsung dari udara di sekitar lokasi pabrik, sedangkan katalis Vanadium Pentaoksida harus diimpor dari Zibo Jiashitai *Chemical Technology Co., Ltd.*, di Tiongkok. Berdasarkan sumber bahan baku ini, distribusi dilakukan melalui jalur darat dan laut, sehingga lokasi pabrik yang strategis harus memiliki akses yang baik ke kedua jalur tersebut. Dari tiga lokasi yang dipertimbangkan, Tuban memiliki keunggulan signifikan karena berada di dekat pemasok *Ortho-xylene*, sehingga mengurangi biaya dan risiko logistik. Namun, ketiga daerah juga memiliki akses ke pelabuhan, yang memudahkan impor katalis dari luar negeri. Sementara itu, Cilegon memiliki tantangan tersendiri karena harus mengangkut *Ortho-xylene* dari Tuban, yang berarti tambahan biaya dan waktu pengiriman.

1.3.3 Sarana Transportasi

Ketersediaan infrastruktur transportasi menjadi faktor kunci dalam kelancaran distribusi bahan baku dan pemasaran produk. Cilegon memiliki sistem transportasi

yang cukup berkembang, baik untuk jalur darat maupun laut. Secara spesifik, jaringan jalan di Cilegon mencakup:

Jalan nasional sepanjang 98 km

Jalan provinsi sepanjang 762,02 km

Jalan kabupaten sepanjang 175,50 km

Selain itu, Cilegon juga memiliki pelabuhan utama yang memfasilitasi arus barang ekspor dan impor, yakni Pelabuhan Merak, yang merupakan salah satu pelabuhan terbesar di Indonesia. Dari segi akses udara, Cilegon memiliki keuntungan karena berdekatan dengan Bandara Internasional Soekarno-Hatta di Tangerang. Dengan demikian, infrastruktur transportasi di Cilegon dapat memberikan efisiensi dalam distribusi dan pemasaran produk.

1.3.4 Daerah Pemasaran

Lokasi pabrik yang ideal harus mempertimbangkan kedekatannya dengan daerah pemasaran guna mengurangi biaya distribusi dan mempercepat pengiriman. Produk *Phthalic Anhydride* berbentuk padat dan termasuk dalam kategori industri *weight gain*, yang berarti biaya transportasinya cenderung meningkat seiring bertambahnya volume produk. Selain itu, sifatnya yang mudah terbakar mengharuskan lokasi pabrik berada di kawasan yang mendukung standar keamanan industri.

Kebutuhan utama *Phthalic Anhydride* berasal dari industri yang memproduksi *plasticizer*, alkyd resin, dan *unsaturated polyester*, yang sebagian besar berlokasi di Pulau Jawa, terutama di kawasan industri sekitar Tangerang dan Jakarta. Oleh karena itu, kedekatan dengan pusat industri ini menjadi keuntungan strategis dalam mengurangi biaya distribusi dan memastikan kelancaran pemasaran produk.

Tabel 1. 4 Pabrik Berbahan *Phthalic Anhydride*

Nama Industri			Komoditi	Lokasi	
PT. Eternal Buana	<i>Chemical Industries</i>		<i>Alkyd resin</i>	Tangerang, Banten	
PT. Pardic Jaya Chemicals			<i>Unsaturated Polyester</i>	Tangerang, Baten	
PT. Indopolymer Adipura			<i>Plasticizer</i>	DKI Jakarta	
PT. Asahimas Chemical			<i>Alkyd resin</i>	Cilegon, Banten	
PT. Sari Dahin Alasindo			<i>Plasticizer</i>	DKI Jakarta	

Sumber: (Kementrian Perindustrian Republik Indonesia, 2025)

1.3.5 Utilitas

Unit utilitas memiliki peran krusial dalam mendukung operasional pabrik dengan menyediakan berbagai fasilitas pendukung, seperti pembangkit listrik, pasokan air untuk kebutuhan produksi dan sanitasi, serta penyediaan uap (*steam*) dan kebutuhan lainnya. Kualitas air yang digunakan dalam proses industri dan sistem steam harus memenuhi standar tertentu sehingga perlu melalui proses pengolahan terlebih dahulu. Keunggulan lokasi pabrik di Cilegon adalah akses yang relatif dekat dengan Sungai Cidanau sebagai sumber air utama, serta laut sebagai alternatif jika pasokan tidak mencukupi. Selain itu, industri di kawasan ini juga didukung oleh PT. Krakatau Tirta Indonesia, yang berperan sebagai penyedia air industri. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan lokasi telah mempertimbangkan aspek ketersediaan utilitas yang memadai untuk menunjang kegiatan operasional pabrik.

1.3.6 Ketersediaan Tenaga Kerja

Sebuah pabrik harus memperhitungkan ketersediaan tenaga kerja, baik tenaga kerja lokal maupun tenaga ahli yang memiliki kompetensi sesuai dengan kebutuhan industri. Sumber daya manusia yang tersedia dapat berasal dari berbagai tingkat pendidikan, yang nantinya akan disesuaikan dengan kebutuhan perusahaan. Kota Cilegon memiliki jumlah penduduk sekitar 476.867 jiwa, Tuban 1.261.691 jiwa, dan Surabaya 3.020.000 jiwa, yang menunjukkan potensi tenaga kerja dalam jumlah besar. Faktor kedekatan lokasi pabrik dengan pemukiman penduduk juga

menjadi keuntungan, karena dapat mempermudah rekrutmen tenaga kerja serta mengurangi biaya mobilitas pekerja. Selain itu, dengan tersedianya tenaga kerja dalam jumlah besar, perusahaan dapat lebih fleksibel dalam menentukan kebijakan rekrutmen sesuai kebutuhan industri.

1.3.7 Pembuangan Limbah

Lokasi pabrik yang berdekatan dengan Sungai Cidanau dan Laut di Pelabuhan Merak memberikan opsi bagi perusahaan dalam sistem pembuangan limbah. Namun, aspek lingkungan harus menjadi prioritas utama, sehingga limbah yang dibuang harus melalui proses pengolahan agar sesuai dengan standar peraturan lingkungan yang berlaku. Hal ini bertujuan untuk mencegah pencemaran air dan dampak negatif terhadap ekosistem sekitar. Oleh karena itu, perusahaan harus memastikan bahwa sistem pengelolaan limbah yang diterapkan mampu memenuhi standar regulasi yang ketat serta berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan industri.

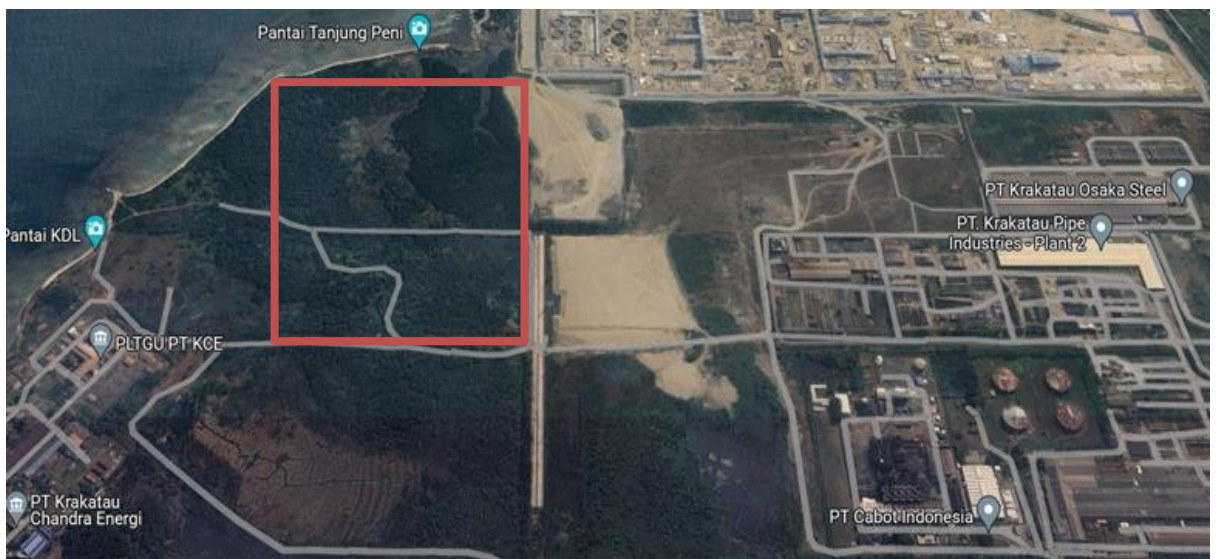
1.3.8 Kebijakan Pemerintah

Sebagai bagian dari kebijakan pengembangan industri, pemerintah telah menetapkan Cilegon sebagai kawasan industri yang terbuka bagi investor asing. Khusus untuk produksi *Phthalic Anhydride*, peluang investasi masih sangat luas, mengingat kebutuhan domestik yang masih belum terpenuhi. Pemerintah juga berperan dalam memberikan kemudahan dalam aspek perizinan, insentif pajak, dan aspek teknis lainnya guna mempercepat pembangunan pabrik.

Di sisi lain, Tuban juga dirancang sebagai kawasan industri oleh Pemerintah Provinsi Jawa Timur. Berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) No. 142 Tahun 2015 tentang kawasan industri, pemerintah memberikan kemudahan dalam pembangunan serta pengelolaan tenaga listrik yang digunakan untuk kebutuhan industri. Investor juga mendapat berbagai insentif pajak daerah, termasuk pengurangan atau pembebasan Pajak Bea Perolehan Hak Atas Tanah dan Bangunan (BPHTB) serta Pajak Penerangan Jalan (PPJ) untuk infrastruktur dalam kawasan industri.

Sementara itu, di Kabupaten Gresik, sesuai dengan Peraturan Daerah No. 8 Tahun 2011 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) 2010-2030, kawasan industri JIPE dikategorikan sebagai area industri, perdagangan, dan jasa. Hal ini memberikan keuntungan bagi investor karena adanya dukungan regulasi yang jelas untuk pengembangan industri di daerah tersebut. Selain itu, berdasarkan Peraturan Presiden No. 3 Tahun 2016 tentang Percepatan Pelaksanaan Proyek Strategis Nasional, kawasan industri JIPE termasuk dalam daftar 225 proyek strategis nasional, yang dapat mempercepat pembangunan dan proses produksi industri di wilayah tersebut.

Dengan berbagai kebijakan yang diterapkan pemerintah, dapat disimpulkan bahwa investasi dalam sektor industri di kawasan-kawasan ini mendapat dukungan penuh dari regulasi yang ada. Kemudahan dalam hal perizinan dan insentif pajak menjadi daya tarik bagi investor untuk menanamkan modalnya di sektor industri, terutama dalam bidang produksi bahan kimia seperti *Phthalic Anhydride* yang memiliki potensi pasar yang besar (Google Maps, 2025).



Gambar 1. 1 Denah Lokasi Pendirian Pabrik

1.4 Tinjauan Proses

1.4.1 Gambaran Umum Proses

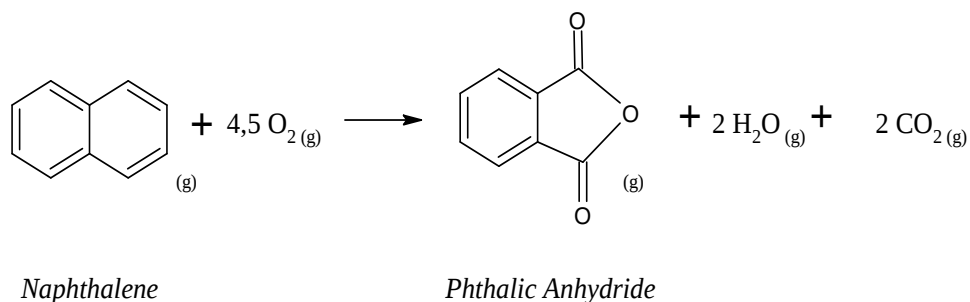
Phthalic Anhydride pertama kali ditemukan oleh Auguste Laurent pada tahun 1836 melalui proses oksidasi 1,2,3,4-tetrachloronaphthalene menggunakan asam

nitrat. Senyawa ini awalnya dinamakan *naphthaleic*. Pada perkembangan selanjutnya, *naphthalene* bersama asam sulfat digunakan dalam metode produksi BASF dalam fase cair, yang kemudian memperoleh paten di Jerman pada tahun 1896. Namun, pada akhir tahun 1950-an, metode ini mulai ditinggalkan karena keterbatasan pasokan *naphthalene* (Krik & Othmer, 2007).

Sebagai respons terhadap kelangkaan *naphthalene*, *Ortho-xylene* mulai digunakan sebagai alternatif bahan baku karena ketersediaannya yang melimpah dari industri petrokimia. Keunggulan teoritis penggunaan *Ortho-xylene* adalah perolehan produk yang lebih tinggi, yakni 104,5% dari bahan baku dibandingkan dengan 92% yang diperoleh dari *naphthalene*. Klaim ini didukung oleh paten AS nomor 4472587 (1984) dan 3431284 (1969).

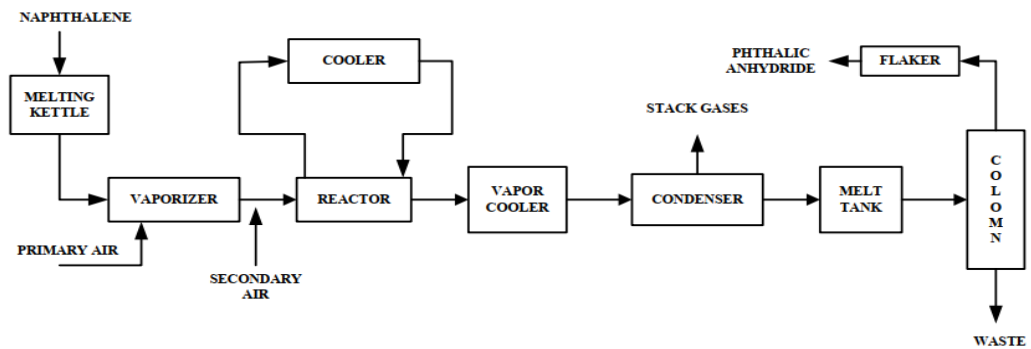
A. Oksidasi *Naphthalene* dalam Fase Gas

Dalam metode ini, *naphthalene* dipanaskan hingga 500°C pada tekanan 3,15 atm sebelum dimasukkan ke dalam reaktor. Reaksi oksidasi menghasilkan *Phthalic Anhydride*, air, dan karbon dioksida. Berikut reaksi *Phthalic Anhydride* dari *Naphthalene*.



Gambar 1. 2 Reaksi *Phthalic Anhydride* dari *Naphthalene*

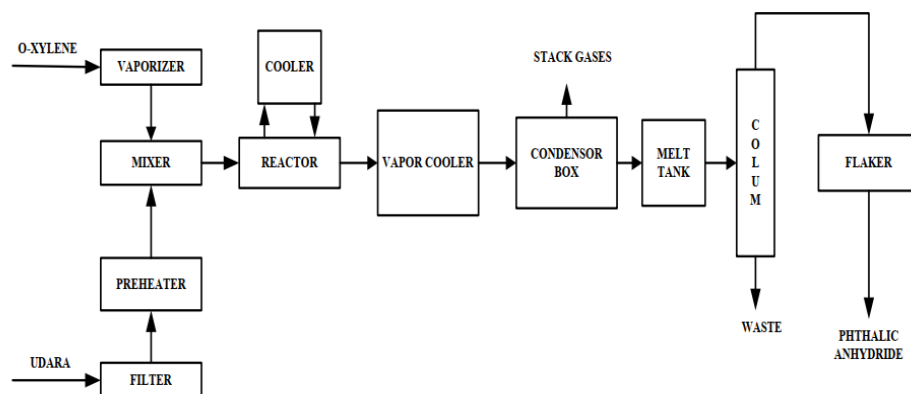
Produk mentah didinginkan dalam *cooler*, kemudian dialirkan ke *flash drum* untuk memisahkan karbon dioksida. *Phthalic Anhydride* yang masih mengandung air dimurnikan dalam kolom distilasi, menghasilkan produk akhir dengan kemurnian 97,8% (Ullman, 2005). Berikut blok diagram proses *Phthalic Anhydride* Dengan Oksidasi *Naphthalene*.



Gambar 1. 3 Blok Diagram Proses *Phthalic Anhydride* Dengan Oksidasi *Naphthalene*

B. Oksidasi *Ortho-xylene* dengan Oksigen

Proses produksi *Phthalic Anhydride* dari *O-xylene* dapat dilakukan dalam dua cara, yaitu oksidasi dalam fase cair dan fase gas. Berikut merupakan garis besar diagram alir pembuatan *Phthalic Anhydride* dengan menggunakan proses Oksidasi *Ortho-xylene*.

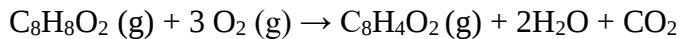
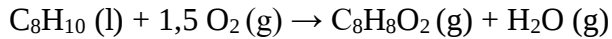


1. Oksidasi *Ortho-xylene* dalam Fase Cair

Proses ini menggunakan campuran *O-xylene*, asam asetat, dan katalis berbasis Co, Mn, serta Br. Air hasil reaksi dipisahkan dengan distilasi azeotrop, sementara produk yang belum dimurnikan menjalani perlakuan khusus akibat kandungan bromin. Proses ini dikembangkan oleh perusahaan seperti Huls dan *Standard Oil of Indian*, dengan tekanan 3 atm dan suhu operasi 150–245°C. Tahapan utama meliputi oksidasi cair yang menghasilkan asam *o-toluic* mentah (*Yield* 1,10 g per

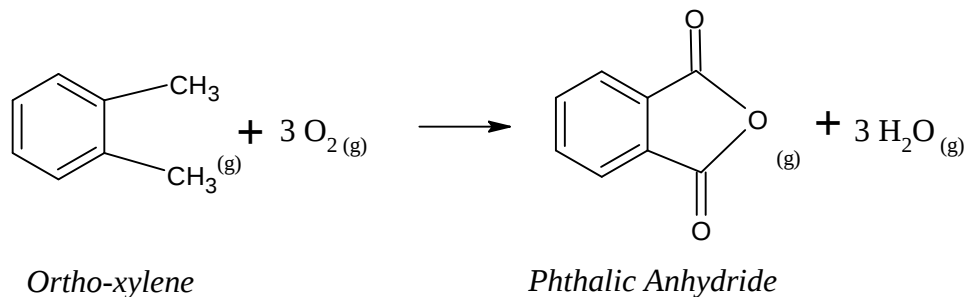
O-xylene) dan oksidasi gas yang mengubah *o*-toluic menjadi *Phthalic Anhydride* dengan *Yield* total 88%.

Reaksi yang terjadi:



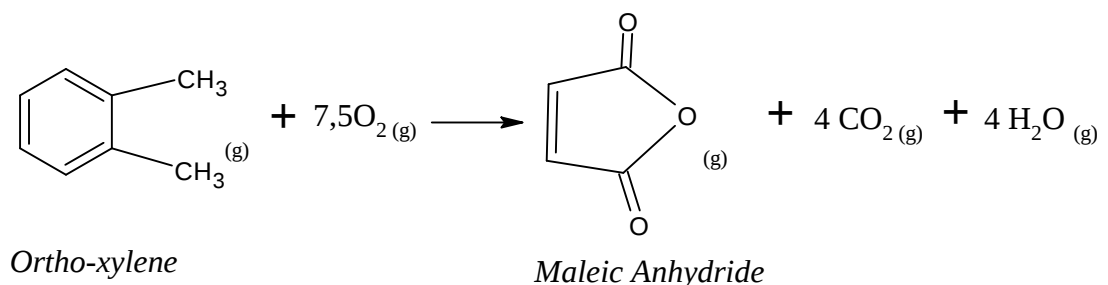
2. Oksidasi *Ortho*-xylene dalam Fase Gas

Metode ini paling banyak diterapkan dalam industry, *O*-xylene direaksikan dengan oksigen dalam reaktor *fixed bed multitube* menggunakan katalis *Vanadium pentaoxide* (V_2O_5) yang disokong *Titanium dioxide* (TiO_2). Keunggulan penggunaan TiO_2 adalah meningkatkan dispersi V_2O_5 dan efisiensi katalis. Proses ini sangat eksotermik dengan suhu operasi 300–400°C, sehingga produk reaksi harus segera dikondensasikan. Produk samping utama adalah *Maleic Anhydride*. Reaksi utama pembetuka *Phthalic Anhydride* dari *O*-xylene dan udara adalah sebagai berikut :



Gambar 1. 4 Reaksi *Phthalic Anhydride* dari *O*-xylene

Adapun reaksi samping yang dihasilkan pada proses pembentukan *Phthalic Anhydride* yang menghasilkan *Maleic Anhydride* sebagai berikut:



Gambar 1. 5 Reaksi Samping yang Menghasilkan *Maleic Anhydride*

Beberapa metode produksi dalam fase gas:

a. Proses BASF

Proses ini menggunakan reaktor dengan dua lapisan katalis tanpa aktivasi SO_2 . Rentang umpan *O-xylene* mencapai 105 g/m^3 , dengan suhu operasi $340\text{--}400^\circ\text{C}$.

Kelebihan:

- *Byproduct* berkurang
- Tidak memerlukan SO_2 untuk aktivasi katalis

Kekurangan:

- Konsumsi *steam* dan utilitas tinggi (Ullman, 2011)

b. Proses Nippon Shokubai VGR

Metode *Vent Gas Recycling* (VGR) mendaur ulang gas buang reaktor untuk menurunkan konsentrasi oksigen di bawah 10% (di bawah batas *flammability*). Suhu operasi $360\text{--}400^\circ\text{C}$, dengan kapasitas umpan *O-xylene* hingga 85 g/m^3 .

Kelebihan:

- *Yield* tinggi
- Operasi lebih aman dari risiko kebakaran
- Efisiensi energi meningkat
- Konversi mencapai 99%

Kekurangan:

- Kurang efisien untuk pabrik berkapasitas kecil (Ullman, 2011)

c. Proses Alusuisse-Ftalital LAR

Proses ini menggunakan *O-xylene* dengan konsentrasi hingga 134 g/m^3 dan katalis berbentuk cincin atau setengah cincin. Metode ini juga memungkinkan kombinasi bahan baku *O-xylene* dan *naphthalene*.

Kelebihan:

- Proses berlangsung cepat

- Kapasitas katalis lebih besar

Kekurangan:

- Produksi terbatas karena ukuran reaktor kecil (Ullman, 2011)

d. Proses *Von Heyden* (VH)

Metode ini dikembangkan oleh Lurgi Ol Gas Chemie GmbH, Frankfurt, dan merupakan salah satu proses yang lebih hemat energi. *O-xylene*, *naphthalene*, atau campuran keduanya dioksidasi dalam reaktor *fixed bed multitube*. Kapasitas produksi berkisar antara 20.000–140.000 ton/tahun dengan konversi 98–99,8%.

Kelebihan:

- Konsumsi energi rendah
- Katalis berumur panjang
- *Off-gas* minimal
- *Yield* tinggi (105–110 kg *Phthalic Anhydride* per 100 kg *O-xylene*)
- Konversi hampir mencapai 100%

Kekurangan:

- Rentan terhadap kebakaran karena sifat mudah terbakar *O-xylene* (Ullman, 2011)

Tabel 1. 5 Jenis Proses Oksidasi *O-xylene* pada fase gas

Jenis Proses	Suhu (°C)	Operasi	Konsentrasi <i>O-xylene</i> (g/m ³)	Masuk	<i>Yield</i>	Energi
BASF	350-400		105		-	Rendah
VGR	360-400		85		1.16	Tinggi
LAR	-		134		-	Rendah
Von Heyden	330-360		40-140		1,10- 1,12	Rendah

Untuk menentukan proses yang digunakan maka dilakukan perbandingan dari setiap proses. Perbandingan ketiga proses dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. 6 Perbandingan Proses Pembuatan *Phthalic Anhydride*

Perbandingan	Oksidasi <i>Naphthalene</i>	Oksidasi <i>O-xylene</i> dalam Fase Cair	Oksidasi <i>O-xylene</i> dalam Fase Gas
Kondisi Operasi	340-385 ⁰ C	150-245 ⁰ C	300-500 ⁰ C
Tekanan	3,15 atm	3 atm	1-3 atm
Katalis	<i>Silica gel</i>	Kombinasi Co-Mn-Br	<i>Vanadium Pentaoxide</i>
Konversi	85%	85-90%	95-99%
<i>Yield</i> (kg Pa/kg <i>O-xylene/naphthane</i>)	0,98-1,02	1,19	1,1-1,2
Emisi	Menghasilkan CO ₂	Menghasilkan CO ₂	Tidak menghasilkan CO ₂
<i>Manufacturing cost</i>	Rendah	Tinggi	Rendah

Pemilihan metode produksi *Phthalic Anhydride* dilakukan melalui proses oksidasi *O-xylene* dalam fase gas menggunakan metode *Von Heyden*. Keputusan ini didasarkan pada beberapa pertimbangan teknis dan ekonomis sebagai berikut:

1. Efisiensi konversi yang lebih tinggi

Oksidasi *O-xylene* dalam fase gas memberikan tingkat konversi yang lebih optimal dibandingkan dengan penggunaan *naphthalene* sebagai bahan baku. Selain itu, metode ini lebih ramah lingkungan karena tidak menghasilkan karbon dioksida (CO₂), sehingga dapat mengurangi dampak emisi gas rumah kaca dan meningkatkan efisiensi reaksi.

2. *Yield* yang lebih tinggi dan efisiensi proses

Dibandingkan dengan bahan baku *naphthalene*, *O-xylene* dalam fase gas memiliki tingkat *Yield* (hasil produk per satuan bahan baku) yang lebih tinggi. Bahkan, dibandingkan dengan proses dalam fase cair, metode ini tetap lebih unggul. Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan *O-xylene* dalam fase gas tidak hanya meningkatkan efektivitas produksi, tetapi juga mengoptimalkan penggunaan bahan baku dan meminimalkan limbah.

3. Kesesuaian dengan skala produksi yang besar

Dengan kapasitas produksi yang dirancang mencapai 43.000 ton/tahun, metode oksidasi *O-xylene* dalam fase gas lebih sesuai karena memiliki keunggulan dalam efisiensi penggunaan bahan baku. Metode ini menghasilkan *off-gas* (gas buangan) dalam jumlah minimal karena rasio bahan baku terhadap udara lebih besar, sehingga mengurangi limbah gas yang harus diolah lebih lanjut. Selain itu, konsumsi energi yang lebih rendah menjadikan metode ini lebih hemat biaya dalam jangka panjang.

4. Keunggulan dalam aspek keamanan dan efisiensi energi

Salah satu keunggulan signifikan dari metode *Von Heyden* adalah suhu operasi yang lebih rendah dibandingkan metode lainnya. Faktor ini sangat penting dalam aspek keselamatan industri dan efisiensi energi, karena suhu yang lebih rendah mengurangi risiko kecelakaan akibat panas berlebih serta menekan biaya operasional yang berkaitan dengan kebutuhan pendinginan dan kontrol suhu dalam sistem reaktor.

5. Fleksibilitas dalam spesifikasi bahan baku

Konsentrasi *O-xylene* yang masuk ke reaktor memiliki rentang yang luas, sehingga metode ini memberikan fleksibilitas lebih besar dalam pengoperasian. Dengan kata lain, jika terjadi variasi spesifikasi bahan baku yang masuk, sistem masih dapat beradaptasi tanpa menurunkan efisiensi produksi secara signifikan. Fleksibilitas ini menjadi faktor krusial dalam industri kimia yang sering menghadapi fluktuasi kualitas bahan baku.

Secara keseluruhan, metode oksidasi *O-xylene* fase gas dengan pendekatan *Von Heyden* dipilih karena memiliki keunggulan dalam hal konversi tinggi, efisiensi *Yield*, rendahnya konsumsi energi, minimnya limbah gas buangan, serta fleksibilitas operasional yang lebih baik dibandingkan dengan metode lain. Keputusan ini mencerminkan pendekatan yang lebih strategis dalam optimalisasi produksi *Phthalic Anhydride*, baik dari segi teknis, ekonomis, maupun lingkungan.