

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Pendirian Pabrik

Indonesia sebagai negara berkembang terus berupaya melakukan pembangunan di berbagai sektor. Salah satu fokus utama pembangunan nasional adalah pengembangan sektor industri, khususnya industri kimia. Tujuan dari pengembangan industri kimia ini adalah untuk memperkuat struktur perekonomian, meningkatkan ketahanan ekonomi, memperluas lapangan kerja, serta mendorong pertumbuhan sektor-sektor pembangunan lainnya. Seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi dan industri kimia, kebutuhan akan bahan kimia juga meningkat. Oleh karena itu, Indonesia berupaya untuk memproduksi bahan kimia yang diperlukan di dalam negeri, mengurangi ketergantungan pada impor. Salah satu industri kimia yang memiliki prospek baik adalah Metil Metakrilat (MMA).

Seiring dengan meningkatnya permintaan global, termasuk dari Indonesia, terhadap senyawa Metil Metakrilat (MMA) sebagai bahan baku industri kimia, prospek pendirian pabrik MMA semakin menjanjikan. MMA digunakan dalam produksi plastik akrilik jenis *Poly-MethylMeth-Acrylate* (PMMA), yang memiliki berbagai aplikasi industri. PMMA memiliki banyak keunggulan dari plastik jenis lainnya, seperti memiliki tingkat transparansi yang tinggi, kestabilan, ketahanan goresan, mudah untuk dibentuk serta ringan (Nagai K, 2001).

1.1.1. Sejarah

Metil Metakrilat (MMA) didapatkan karena adanya reaksi yang terjadi antara asam akrilat dengan metanol. Pada awalnya, asam akrilat diproduksi pada tahun 1843, dan asam metakrilat diformulasikan dari asam akrilat pada tahun 1865. Pada tahun 1877, ahli kimia Jerman Wilhelm Rudolf Fittig menemukan proses polimerisasi yang mengubah Metil Metakrilat menjadi poli Metil Metakrilat. Bahan ini terus dikembangkan di berbagai laboratorium pada tahun 1928 dan secara umum dipasarkan oleh Rohm dan Haas pada tahun 1933. Pada tahun ini, nama merek "Glass" telah dipatenkan. Pada tahun 1936, ICI Acrylics (sekarang Lucite International) memulai produksi kaca pengaman akrilik secara komersial. Selama Perang Dunia II, kekuatan Sekutu dan Poros menggunakan akrilik untuk periskop kapal selam dan kaca depan, kanopi, dan menara pesawat (Nagai K, 2001).

Metil Metakrilat secara signifikan terus berkembang hingga saat ini dimana berdasarkan fungsinya dapat diaplikasikan pada berbagai banyak bidang. Metil

Metakrilat merupakan bahan baku utama untuk pembuatan metakrilat lainnya. Turunan dari senyawa ini meliputi *Ethyl Meth-Acrylate* (EMA), *Butyl Meth-Acrylate* (BMA), dan juga *2-EthylHexyl Meth-Acrylate* (2-EHMA). Metil Metakrilat juga digunakan untuk produksi senyawa *co-polymer Methyl Methacrylate Butadiene-Styrene* (MBS), digunakan sebagai pengubah untuk PVC. Namun, aplikasi utama dari senyawa Metil Metakrilat ini adalah untuk pembuatan senyawa PMMA.

PMMA merupakan senyawa homo polimer yang dapat dibentuk dari reaksi polimerisasi adisi dengan bahan baku senyawa Metil Metakrilat (Nagai, K., & Ui, 2004). PMMA adalah sejenis plastik transparan yang keras, kuat, ringan dan fleksibel. Penggunaannya sebagai campuran untuk mencampur kaca dan logam paling mudah diamati pada lampu belakang mobil dan jendela pesawat. PMMA bersifat termoplastik (meleleh saat dipanaskan) dan transparan. PMMA dijual dengan merek dagang Flexiglas, Vitroflex, Perspex, Limacryl, Acrylite, Acrylplast, Altuglas dan Lucite dan umumnya disebut sebagai kaca akrilik atau hanya akrilik. PMMA ini juga digunakan sebagai "nat" oleh ahli bedah ortopedi untuk membuat sisi pan tulang untuk memperbaiki tulang.

1.1.2. Alasan Pendirian Pabrik

Seiring dengan peningkatan jumlah kebutuhan Metil Metakrilat (MMA) yang ada di dunia saat ini dapat digunakan sebagai peluang dalam pengembangan ekonomi nasional negara dengan mendirikan pabrik Metil Metakrilat di Indonesia. Hal ini dapat memberikan keuntungan bagi sektor ekonomi Indonesia disisi lain juga dapat memicu berkembang industri-industri yang menggunakan Metil Metakrilat sebagai bahan baku itu sendiri, sekaligus membuka lapangan pekerjaan sehingga dapat mengurangi tingkat pengangguran dan meningkatkan devisa negara Indonesia jika Metil Metakrilat dapat di ekspor di berbagai negara.

Indonesia sampai saat ini masih melakukan impor Metil Metakrilat untuk memenuhi kebutuhan di dalam negeri, sehingga berdirinya pabrik Metil Metakrilat ini akan memenuhi kebutuhan di dalam negeri. Oleh karena itu, perlu dibangun pabrik Metil Metakrilat untuk memenuhi kebutuhan Metil Metakrilat diperlukan oleh Indonesia. Dan dalam memenuhi kebutuhan pembangunan pabrik Metil Metakrilat yang ada di Indonesia dapat digunakan bahan baku metakrolein, metanol, dan oksigen serta bahan pendukung Natrium hidroksida (NaOH). Kehadiran pabrik Metil Metakrilat diharapkan dapat memenuhi kebutuhan bahan baku dalam industri cat, resin, alat-alat rumah tangga, kosmetik dan industri polimer lainnya. Melainkan melihat prospek dan

rencana yang baik untuk membangun pabrik produksi Metil Metakrilat, komoditas yang patut diperhatikan, khususnya di Indonesia, dalam persaingan dunia industri yang semakin ketat.

1.2. Kapasitas Rancangan

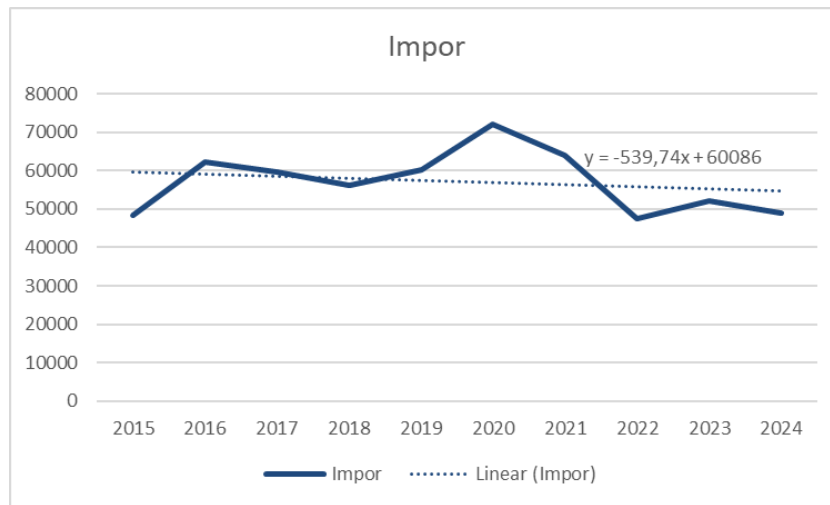
Dalam menentukan kapasitas produksi yang menguntungkan digunakan beberapa pertimbangan yaitu prediksi kebutuhan Metil Metakrilat di Indonesia, ketersediaan bahan baku, dan ketentuan kapasitas minimum.

1.2.1. Kebutuhan

Kapasitas produksi dari Metil Metakrilat dapat ditentukan dengan jumlah kebutuhan Metil Metakrilat dalam negeri. Kebutuhan Metil Metakrilat yang ada di Indonesia dapat dilihat dari data impor pada ekspor-impor di Badan Pusat Statistik (BPS). Berdasarkan dari data-data yang telah dikumpulkan melalui Badan Pusat Statistik (BPS), kebutuhan dari Metil Metakrilat ini selalu terjadi peningkatan untuk setiap tahunnya. Kebutuhan dari Metil Metakrilat di Indonesia pada tahun 2015 sampai dengan tahun 2024 dapat dilihat pada Tabel 1.1. di bawah ini.

Tabel 1. 1. Data Impor Metil Metakrilat tahun 2015-2024 (Badan Pusat Statistik, 2024)

Tahun	Kebutuhan (ton/tahun)	% P
2015	48264,529	0
2016	62136,911	0,287424
2017	59723,568	-0,03884
2018	56245,315	-0,05824
2019	60159,138	0,069585
2020	72025,854	0,197255
2021	63884,897	-0,11303
2022	47524,435	-0,25609
2023	52211,96	0,098634
2024	49000,912	-0,0615
Total	571177,519	0,125199
Rata-rata	57117,7519	0,01252



Gambar 1. 1. Grafik kebutuhan Metil Metakrilat di Indonesia

Penentuan kapasitas pabrik Metil Metakrilat dilakukan dengan mempertimbangkan rata-rata kebutuhan Metil Metakrilat di Indonesia. Berdasarkan data-data diatas pabrik Metil Metakrilat yang mulai beroperasi pada tahun 2028 dengan menggunakan metode disconted (pertumbuhan rata-rata pertahun), sebagai berikut:

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

Keterangan :

m = Jumlah produk pada tahun – tahun mendatang (ton/tahun)

P = Data besarnya impor tahun 2024 (ton/tahun)

i = Rata-rata kenaikan impor tiap tahun (%)

n = Selisih tahun (tahun proyeksi – 2024)

Berikut hasil perhitungan proyeksi kebutuhan impor Metil Metakrilat di Indonesia pada tahun 2028 berdasarkan data dari BPS.

$$m(2028) = 49.000,912 (1 + (0,01252))^4$$

$$m(2028) = 51,501,32106 \text{ ton/tahun}$$

Konsumsi metil metakrilat di Indonesia di dominasi oleh pabrik pembuatan resin akrilik, berikut merupakan pabrik berbahan baku Metil Metakrilat di Indonesia.

Tabel 1. 2. Beberapa Pabrik Berbahan Metil Metakrilat di Indonesia

No	Pabrik	Industri	Kapasitas (Ton/tahun)	Lokasi
1.	PT. Diachem Resin	Resin Akrilik	12.500	Jakarta
2.	PT. Astari Niagara	Akrilik, Plates, Sheets	17.000	Tangerang
3.	PT. Pardic Jaya	Cat dan Resin	12.000	Tangerang
4.	PT. BASF	Akrilik	1.000	Serang
5.	PT. Dow Indonesia	Akrilik	50.000	Serang
6.	PT. GJ International	Spare parts	8.000	Jakarta
7.	PT. Polyplast	PMMA	9.000	Serang

Kemudian untuk penentuan kapasitas pabrik sebaiknya berdasarkan kebutuhan konsumsi di Indonesia. Pabrik Metil Metakrilat belum pernah dibangun di Indonesia sehingga untuk melihat data kapasitas minimum yang telah diproduksi perlu dilihat dari data pabrik yang ada di luar negeri dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. 3. Kapasitas Beberapa Industri Metil Metakrilat (Nagai dan Ui, 2004)

Industri	Kapasitas (Ton/tahun)
Thai MMA	70.000
Sumitomo Chemical (Singapore)	53.000
Honam Petrochemical (Korea)	40.000
Mitsui Chemical	20.000
Kuraray	65.000
Mitsubishi Gas Chemical	51.000

Berdasarkan Tabel 1.3 kapasitas rata-rata dari pabrik Metil Metakrilat yang sudah beroperasi sebesar 50.000 ton/tahun, sehingga dengan melakukan pertimbangan angka proyeksi dari kebutuhan Metil Metakrilat di Indonesia serta kapasitas rata-rata pabrik yang telah ada. Kapasitas pabrik baru yang belum berdiri di Indonesia adalah dikalikan 1.5 dari nilai proyeksi sehingga didapatkan :

$$m(2028) = 51,501,32106 \times 1.5 = 77.251,9815 \text{ ton/tahun}$$

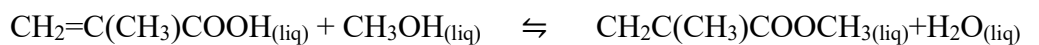
1.2.2. Ketersediaan Bahan Baku

Salah satu hal yang harus dipertimbangkan dalam merencanakan suatu pabrik adalah menentukan bahan baku, karena kualitas dan proses dari pabrik tersebut akan ditentukan berdasarkan bahan bakunya. Bahan baku utama yang digunakan dalam proses pembuatan Metil Metakrilat adalah asam metakrilat, metanol, dan katalis H_2SO_4 .

Bahan pendukung yaitu Gliserin. Bahan baku dan pendukung tersebut diperoleh dari industri kimia sebagai berikut:

- Asam Metakrilat diperoleh dari PT. Mitsubishi Chemical Group (Jepang)
- Metanol diperoleh dari PT Kaltim Methanol Industri (KMI) (Kalimantan Timur)
- Katalis H_2SO_4 diperoleh dari PT. Satona Chemical (Jawa Timur)
- Gliserin diperoleh dari PT. Eterindo Nusa Graha (Jawa Timur)

Untuk menentukan kebutuhan bahan baku pembuatan Metil Metakrilat (MMA) dapat dilakukan dengan perhitungan stokiometri, dimana kapasitas produksi yang akan digunakan sebesar 80.000 ton/tahun. Sehingga kebutuhan Asam Metakrilat, Metanol dan Asam Sulfat dihitung sebagai berikut :



Asam Metakrilat Metanol (Katalis : H_2SO_4) Metil Metakrilat Air

$$\text{Mol Metil Metakrilat} = \frac{\text{Kapasitas Produksi}}{\text{Massa Molar}}$$

$$= \frac{80000}{100,11}$$

$$= 799,041 \text{ mol}$$

$$\text{Mol Asam Metakrilat} = 1 \times \text{Mol MMA}$$

$$= 799,041 \text{ mol}$$

$$\text{Mol Metanol} = 1 \times \text{Mol MMA}$$

$$= 799,041 \text{ mol}$$

$$\text{Kebutuhan Asam Metakrilat} = \text{Mol MAA} \times \text{Massa Molar MAA}$$

$$= 799,041 \times 86,09$$

$$= 68.789,440 \text{ ton}$$

$$\text{Kebutuhan Metanol} = \text{Mol Metanol} \times \text{Massa Molar Metanol}$$

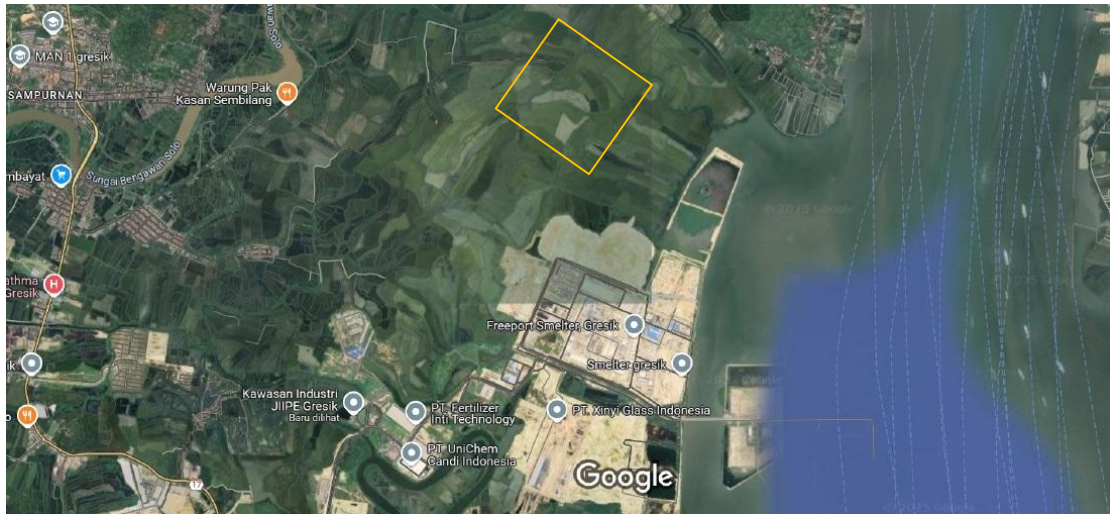
$$= 799,041 \times 32.042$$

$$= 25.602,8717 \text{ ton}$$

1.3. Penentuan Lokasi Pabrik

Dalam perancangan suatu pabrik, lokasi pabrik merupakan salah satu hal esensial yang harus diperhatikan. Hal ini dikarenakan lokasi pabrik berpengaruh terhadap keberlangsungan operasional dan keekonomian jangka panjang. Beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam

penentuan lokasi pabrik antara lain ketersediaan bahan baku, pemasaran, utilitas, geografis, transportasi, tenaga kerja, dll. Pabrik metil metakrilat direncanakan akan didirikan di Kawasan industri JIPE (Java Integrated Industrial and Ports Estate), Gresik, Jawa Timur. Kawasan ini dinilai memenuhi berbagai kriteria teknis dan non-teknis untuk pendirian pabrik metil metakrilat dengan proses *direct esterification* dan teknologi Heat-Integrated Pressure Swing Extractive Distillation (HI-PSEDP). Pemilihan lokasi ini didasarkan pada hasil evaluasi terhadap faktor-faktor berikut.



Gambar 1. 2. Peta Lokasi Pabrik

1.3.1. Ketersediaan Bahan Baku

Pemilihan kawasan industri JIPE, Gresik didasarkan pada kemudahan akses terhadap bahan baku utama yang dibutuhkan dalam proses produksi metil metakrilat, yaitu methacrylic acid (MAA), metanol, air, H_2SO_4 , dan gliserin. MAA dan metanol dapat diperoleh melalui impor dari PT. Mitsubishi Chemical Group (Jepang) atau Rohm GmbH (Jerman) melalui Pelabuhan Tanjung Perak yang berjarak relatif dekat dari lokasi pabrik. Selain itu, metanol tersedia dari kawasan industri petrokimia di Kalimantan Timur seperti PT Kaltim Methanol Industri (KMI). Gliserin dapat diperoleh dari industri biodiesel lokal di Jawa Timur yang jumlahnya cukup banyak dan tersebar, sehingga menjamin ketersediaan secara kontinu. Air dan H_2SO_4 juga tersedia dari distributor bahan kimia industri yang telah beroperasi di wilayah Jawa Timur, sehingga mengurangi risiko keterlambatan pengadaan bahan baku.

1.3.2. Pemasaran (*Marketing*)

Dari sisi pemasaran, Gresik memiliki posisi yang sangat strategis karena terletak di Pulau Jawa, pusat industri manufaktur nasional. Produk MMA yang digunakan dalam industri plastik, cat, pelapis, dan otomotif akan lebih mudah didistribusikan ke sentra

industri di Surabaya, Sidoarjo, Semarang, Jakarta, dan Bandung; seperti PT. Asahimas Flat Glass Tbk, PT Justus Sakti Raya, PT Pacific Paint, PT Propan Raya ICC, PT Mulford Indonesia, dll. Selain pasar domestik, lokasi ini juga mendukung aktivitas ekspor melalui pelabuhan internasional Tanjung Perak, yang memfasilitasi pengiriman produk ke negara-negara di Asia Tenggara dan Asia Timur, dengan beberapa perusahaan antara lain Mitsubishi Chemical Group, Evonik Industries AG Jerman, LG MMA Corp, Chi Mei Corporatin, dan Saudi Methacrylates Company (SAMAC).

1.3.3. Utilitas

Kawasan JIPE telah dilengkapi dengan infrastruktur utilitas yang memadai dan terintegrasi, mencakup suplai listrik, air industri, uap, jaringan gas, serta pengolahan air limbah. Keberadaan fasilitas-fasilitas ini memberikan keuntungan dalam hal efisiensi operasional dan pengurangan biaya instalasi awal. Listrik dapat diperoleh dari PLN maupun pembangkit dalam kawasan, sementara jaringan air industri diolah dari sumber lokal dan disediakan oleh pengelola kawasan.

1.3.4. Keadaan Geografis dan Masyarakat

Secara geografis, kawasan JIPE memiliki topografi datar, dekat dengan garis pantai, dan jauh dari pemukiman padat penduduk, sehingga mengurangi risiko gangguan terhadap lingkungan sosial dan mempermudah konstruksi fasilitas industri. Wilayah ini juga sudah ditetapkan sebagai kawasan industri dalam RT dan RW setempat, sehingga tidak menimbulkan konflik peruntukan lahan.

1.3.5. Transportasi

Akses transportasi menjadi salah satu keunggulan utama lokasi ini. Kawasan JIPE terhubung langsung dengan jalan tol Trans-Jawa yang memperlancar distribusi logistik darat ke berbagai daerah di Pulau Jawa. Di sisi laut, kedekatannya dengan Pelabuhan Gresik dan Pelabuhan Tanjung Perak mempermudah kegiatan ekspor-impor bahan baku maupun produk jadi. Selain itu, jalur kereta api industri dan akses ke bandara internasional Juanda memberikan fleksibilitas tambahan dalam mobilitas personel dan logistik.

1.3.6. Tenaga Kerja

Ketersediaan tenaga kerja juga menjadi pertimbangan utama. Gresik dan sekitarnya, termasuk Surabaya dan Lamongan, memiliki populasi pekerja industri yang cukup besar, termasuk lulusan dari institusi pendidikan teknik dan vokasi. Hal ini

memudahkan dalam rekrutmen tenaga kerja terampil dan menurunkan biaya pelatihan awal.

1.3.7. Pembuangan Limbah dan Buangan Pabrik

Kawasan JIPE menyediakan fasilitas pengolahan air limbah terpadu (IPAL) yang memadai untuk menangani limbah cair dari proses produksi. Selain itu, emisi gas dapat ditangani dengan penggunaan scrubber dan kondensor sesuai standar baku mutu emisi. Dengan adanya sistem pengelolaan limbah yang baik, risiko pencemaran lingkungan dapat diminimalkan sesuai dengan prinsip industri hijau.

1.3.8. Site dan Karakteristik Lokasi

Lahan di JIPE tersedia dalam bentuk kavling industri siap bangun yang telah dilengkapi fasilitas dasar seperti jalan, saluran air, dan sistem drainase. Karakteristik tanah stabil dan tidak rawan bencana alam, sehingga layak untuk pembangunan pabrik berskala besar. Selain itu, status lahan dalam kawasan industri memberikan kepastian hukum dan mempermudah proses perizinan.

1.3.9. Peraturan Perundang-Undangan

Secara legal, kawasan JIPE telah memenuhi ketentuan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) sebagai kawasan industri kimia, serta didukung dengan Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS). Pendirian pabrik di lokasi ini harus mengikuti regulasi terkait penyusunan dokumen AMDAL, izin lingkungan, dan perizinan berusaha melalui sistem OSS (*Online Single Submission*). Dengan legalitas yang jelas dan dukungan dari pemerintah daerah maupun pusat, proses pendirian pabrik dapat berjalan lebih efisien.

Selain itu terdapat Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 51 Tahun 2021 merupakan aturan pelaksanaan dari Perda No. 3 Tahun 2019 tentang Rencana Pembangunan Industri Provinsi Jawa Timur Tahun 2019–2039. Kawasan Gresik, khususnya JIPE, termasuk dalam wilayah prioritas industri kimia dasar dan hilir sesuai peraturan ini. Oleh karena itu, pendirian pabrik metil metakrilat di Gresik sejalan dengan kebijakan pemerintah provinsi dan berpotensi memperoleh dukungan infrastruktur, kemudahan perizinan, serta akses pasar yang strategis.

Di samping itu, Pemerintah telah memberikan beberapa insentif bagi pelaku usaha yang tertera di Peraturan Menteri Keuangan (PMK) nomor 105 tahun 2016. Dalam aturan tersebut pemerintah memberikan fasilitas pengurangan perpajakan dan kepastian bagi perusahaan di kawasan industri, termasuk kawasan industri JIPE (PT Berkah Kawasan Manyar Sejahtera, 2023).

Adapun penilaian penentuan Lokasi pabrik dapat dilihat pada Tabel 1... berikut.

Tabel 1. 4. Penilaian Pemilihan Lokasi Pabrik

Aspek	Gresik (JIPE)	Balikipapan (Kariangau)	Cilegon (KIEC)
Ketersediaan Bahan Baku	5	4	4
Pemasaran	5	3	5
Utilitas	5	3	5
Geografis & Masyarakat	5	4	5
Transportasi	5	3	5
Tenaga Kerja	5	3	5
Pengolahan Limbah	5	3	5
Kondisi Lahan & Site	5	4	4
Regulasi & Legalitas	5	4	5
Total Skor	45	31	43

Keterangan Skor:

1 = Sangat Kurang

2 = Kurang

3 = Cukup Baik

4 = Baik

5 = Baik Sekali

1.4. Tinjauan Proses

1.4.1. Kegunaan Produk

Metil Metakrilat (MMA) dengan rumus molekul $\text{CH}_2\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOCH}_3$. MMA atau dengan nama kimia methyl 2 methylpropenoate adalah senyawa turunan ester dan salah satu bentuk monomer dari resin akrilik yang digunakan dalam beberapa industri kimia sebagai intermediet yang berfungsi dalam industri cat, industri peralatan rumah tangga, industri kosmetik, dan industri polimer. Bahan kimia ini mudah terbakar, pada suhu kamar berbentuk cairan tak berwarna, mendidih pada temperatur 101°C , sedikit larut dalam air dan beberapa pelarut organik lainnya. Adapun penggunaan metil metakrilat di beberapa industri, yakni sebagai berikut.

- Bahan baku polimer dan resin

MMA digunakan sebagai monomer utama dalam pembuatan polimer metil metakrilat dan berbagai resin. Produk ini memiliki sifat transparan, kuat, dan tahan terhadap cuaca, sehingga banyak dipakai dalam pembuatan plastik berkualitas tinggi seperti akrilik.

b. Perekat

MMA memberikan adhesi yang kuat pada berbagai permukaan, sehingga digunakan sebagai bahan dasar perekat industri yang tahan lama dan tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan.

c. Cat dan pelapis

Sifat MMA yang mudah membentuk film tipis dan tahan lama menjadikannya bahan penting dalam formulasi cat dan pelapis, terutama untuk memberikan perlindungan dan estetika pada produk.

d. Industri plastic

Di Indonesia, penggunaan MMA masih terbatas terutama dalam industri plastik, seperti untuk resin, perekat, dan cat. Hal ini menunjukkan potensi pengembangan yang masih besar dalam industri plastik nasional.

e. Penggunaan di negara maju

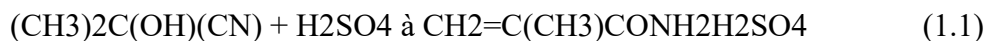
Sebagai perbandingan, di Amerika Serikat MMA dimanfaatkan secara lebih luas, mencakup pelapis kulit (24%), kosmetik (21%), cat (18%), peralatan rumah tangga (10%), polimer (8%), dan industri lainnya (19%) (Ullmann's, 1989).

1.4.2. Pemilihan Proses

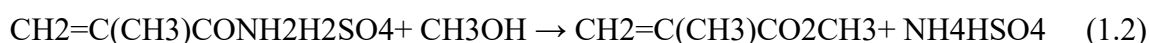
Menurut Kirk dan Othmer (1995), terdapat tiga jenis proses yang dapat dilakukan untuk memproduksi metil metakrilat, antara lain Aseton Sianohidrin, isobutilena, dan etilene. Selain itu, terdapat pula proses lain yaitu direct esterification antara methacrylic acid (MAA) dengan methanol yang digunakan dalam perancangan ini, karena lebih sederhana dan ramah lingkungan.

1. Proses Aseton Sianohidrin (ACH)

Proses ini merupakan metode pertama yang digunakan secara komersial untuk produksi metil metakrilat, yang dipatenkan oleh ICI pada tahun 1934 dan mulai diterapkan pada tahun 1937. Dalam proses ini, aseton direaksikan dengan hidrogen sianida (HCN) untuk membentuk senyawa acetone cyanohydrin. Senyawa tersebut kemudian mengalami reaksi hidrolisis dan dehidrasi, biasanya menggunakan asam sulfat, lalu direaksikan dengan metanol atau turunannya untuk menghasilkan metil metakrilat (MMA). Reaksi hidrolisis terjadi di reactor alir tangka berpengaduk dengan reaksi sebagai berikut.



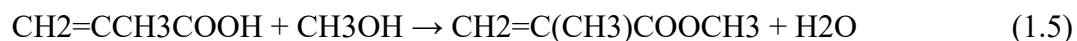
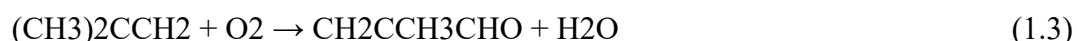
Tahap berikutnya adalah ekstraksi metakrilamid sulfat menggunakan kelebihan metanol dalam reaktor esterifikasi jenis continuous stirred tank reactor (CSTR), yang dioperasikan pada suhu 100–150°C dan tekanan sekitar 7 atm. Proses ini menghasilkan metil metakrilat sebagai produk utama dan amonium bisulfat sebagai produk samping. Waktu tinggal di dalam reaktor kurang dari satu jam, dengan tingkat konversi reaksi mencapai 80–98%. Reaksi kimia yang berlangsung di reaktor esterifikasi adalah sebagai berikut.



Setelah tahap esterifikasi, hasil reaksi akan menjalani serangkaian proses pemisahan dan pemurnian untuk memperoleh produk metil metakrilat dengan tingkat kemurnian tinggi serta bebas dari zat pengotor.

2. Proses Isobutanol atau Isobutilena

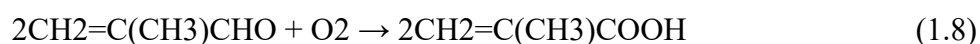
Reaksi ini terdiri dari dua tahap utama. Tahap pertama melibatkan oksidasi isobutanol menjadi metakrolein, sedangkan tahap kedua melibatkan oksidasi metakrolein menjadi metil metakrilat (MMA). Kedua tahap reaksi memerlukan katalis. Pada tahap pertama, digunakan katalis berbasis oksida logam multikomponen yang mengandung bismut, molibdenum, serta logam lain untuk meningkatkan kinerja dan selektivitas. Sementara itu, tahap kedua menggunakan katalis berbahan dasar fosfomolibdat yang ditambahkan logam alkali guna mengatur tingkat keasaman. Kedua reaksi ini dilakukan dalam reaktor yang berbeda, dan menghasilkan konversi sekitar 75%. Reaksi yang berlangsung adalah sebagai berikut.



Reaktor oksidasi pertama beroperasi pada 395°C dan tekanan 1–2 atm, sementara reaktor kedua pada 350°C dan 7 atm. Tahap ketiga berlangsung dalam reaktor tangki alir berpengaduk pada suhu 70–100°C dan tekanan 6,8–7,5 atm. Hasil reaksi dialirkan ke scrubber untuk menghasilkan metil metakrilat kasar, lalu ke absorber untuk menangkap sisa metakrolein menggunakan larutan asam karboksilat. Gas buangan dibakar sebelum dibuang, dan metakrolein yang tertangkap dikembalikan ke reaktor kedua. Produk MMA kasar disuling untuk memperoleh kemurnian tinggi.

3. Proses Etilena

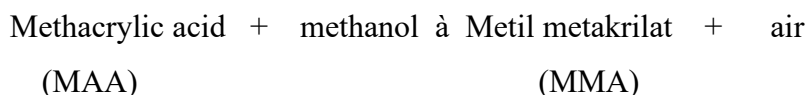
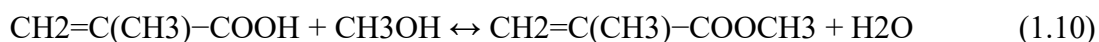
Proses produksi metil metakrilat dari etilena terdiri dari empat tahap. Pertama, etilena direaksikan dengan karbon monoksida dan hidrogen membentuk propionaldehid dalam fase gas pada suhu 30°C dan tekanan 15 atm. Kedua, propionaldehid direaksikan dengan formaldehid dalam fase cair pada suhu 160–185°C dan tekanan 49 atm untuk menghasilkan metakrolein. Tahap ketiga, metakrolein dioksidasi dalam fase gas dengan oksigen pada suhu 100°C dan tekanan 350 atm untuk menghasilkan asam metakrilat. Terakhir, asam metakrilat direaksikan dengan metanol dalam fase cair pada suhu 70–100°C dan tekanan 6,8–7,5 atm menggunakan katalis logam multi-komponen, menghasilkan metil metakrilat dengan konversi sekitar 75%. Adapun reaksi yang terjadi yaitu sebagai berikut.



4. Proses Direct Esterification (metil akrilat dan methanol) dengan teknologi HI-PSEDP

Berbeda dengan Direct Oxidative Esterification (DOE) yang memproduksi metil metakrilat melalui tahapan oksidasi isobutanol menjadi MAA sebelum diesterifikasi dengan metanol, metode Direct Esterification hanya melibatkan reaksi langsung antara methacrylic acid (MAA) dengan methanol dan H₂SO₄, sehingga prosesnya lebih sederhana dan mudah dikendalikan.

Direct esterification antara metacrylic acid (MAA) dan metanol adalah reaksi kondensasi yang menghasilkan metil metakrilat (MMA) dan air, sesuai persamaan reaksi berikut.



Proses ini berlangsung secara reversibel dan biasanya dikatalisasi oleh asam untuk meningkatkan laju reaksi. Mekanisme reaksi melibatkan protonasi gugus karbonil pada MAA sehingga karbon karbonil menjadi lebih elektrofilik, kemudian metanol menyerang karbon ini membentuk intermediat tetrahedral. Selanjutnya, molekul air dilepaskan, menghasilkan ester metil metakrilat.

Direct esterification antara metacrylic acid (MAA) dan metanol menghasilkan metil metakrilat (MMA) dengan konversi yang umumnya berkisar antara 67% hingga 76%,

tergantung kondisi reaksi dan jenis katalis yang digunakan. Karena reaksi ini bersifat reversibel, konversi penuh sulit dicapai tanpa pengendalian kondisi proses, khususnya penghilangan air sebagai produk sampingan yang dapat menghambat kesetimbangan reaksi. Untuk mengatasi hal ini, teknologi Heat-Integrated Pressure Swing Extractive Distillation (HI-PSEDP) dapat diperkenalkan sebagai solusi inovatif.

HI-PSEDP adalah teknologi pemurnian canggih yang menggabungkan distilasi ekstraktif dengan pengelolaan tekanan dan integrasi panas. Tujuan utama teknologi ini adalah untuk memisahkan produk dan menghilangkan air secara efisien selama proses reaksi berlangsung. Dengan cara menghilangkan air secara terus-menerus melalui perubahan tekanan dan distilasi yang terintegrasi dengan pemulihan panas, HI-PSEDP mampu menggeser kesetimbangan reaksi esterifikasi ke arah pembentukan MMA. Hal ini memungkinkan peningkatan konversi secara signifikan tanpa perlu menambah jumlah metanol secara berlebihan.

1.4.3. Seleksi Proses

Berdasarkan jenis proses produksi metil metakrilat yang telah diuraikan, pertimbangan penentuan proses danap dibandingkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 1. 5.Perbandingan Pemilihan Proses

Aspek	ACH	Isobutanol/Isobutilen	Etilen	Direct Esterification + HI-PSEDP
Bahan baku	Aseton, HCN	Isobutanol/Isobutilen	Etilen, Asam asetat	MAA, Metanol
Proses utama	Multistage (4–5 tahap)	3–4 tahap oksidasi & pemisah	>5 tahap konversi bertahap	2 tahap: esterifikasi + distilasi
Alat proses	Kompleks, banyak unit	Kompleks	Sangat kompleks	Relatif sederhana, terintegrasi
Suhu	50–150°C	100–300°C	150–200°C	60–120°C
Tekanan	1–2 bar	1–5 bar	1–3 bar	1–5 bar (swing)
Katalis	Asam kuat (homogen)	Logam oksidasi/dehidrogenasi	Heterogen & homogen	Resin asam / H ₂ SO ₄
Reaktor	CSTR / Fixed bed	Fixed bed / CSTR	Fixed bed / CSTR	CSTR / PFR + distilasi integrasi

Aspek	ACH	Isobutanol/Isobutilen	Etilen	Direct Esterification + HI-PSEDP
Konversi MMA	75–80%	70–80%	70–85%	90–99% (dengan penghilangan air)
Energi & efisiensi	Tinggi konsumsi energi	Sedang – tinggi	Tinggi	Tinggi efisiensi (integrasi panas)
Lingkungan & aman	Limbah HCN berbahaya	Bahan baku terbarukan	Cukup aman tapi kompleks	Ramah lingkungan, aman
Skalabilitas	Sudah mapan di industri	Menuju komersial	Sulit dikomersialkan	Perlu validasi skala industri

Berdasarkan pertimbangan, dipilih proses ini karena jalur *direct esterification* yang dikombinasikan dengan teknologi HI-PSEDP dipilih karena mampu meningkatkan efisiensi energi, menyederhanakan alur proses, serta menghasilkan konversi MMA yang tinggi hingga 99,9% (Zhong et al., 2024). Teknologi HI-PSEDP mengintegrasikan pemulihan panas antar unit distilasi, sehingga secara signifikan menurunkan konsumsi uap dan kebutuhan pendinginan. Hal ini berdampak pada penurunan biaya operasional dan total biaya tahunan (TAC), sekaligus mengurangi emisi gas rumah kaca seperti CO₂, SO₂, dan NO_x. Dengan peningkatan efisiensi termal serta pemanfaatan panas dari aliran produk dan limbah, HI-PSEDP menjadikan proses pemisahan MMA, metanol, dan air lebih hemat energi, ramah lingkungan, dan ekonomis dibandingkan metode distilasi konvensional.