

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri bahan kimia di Indonesia saat ini mengalami perkembangan yang sangat pesat seiring dengan semakin meningkatnya pasar produk-produk jadi yang tinggi. Produksi bahan kimia di Indonesia saat ini belum bisa memenuhi kebutuhan dalam negeri yang terus meningkat, sehingga Indonesia harus mengimpor bahan-bahan kimia dalam jumlah besar setiap tahunnya. Saat ini sedang terjadi era perdagangan bebas di negara ASEAN, sehingga upaya peningkatan produktivitas dan daya saing adalah suatu keharusan agar Indonesia dapat menyesuaikan dengan perkembangan zaman dan dapat mengurangi kebutuhan impor.

Untuk mengurangi ketergantungan dari luar negeri, dipandang perlu untuk mendirikan Industri kimia dasar khususnya Asam Akrilat. Asam akrilat adalah bentuk sederhana dari asam karboksilat tak jenuh. Asam akrilat memiliki nama IUPAC *propenoic acid* dan rumus kimia CH_2CHCOOH . Asam akrilat berwujud cair pada suhu kamar, tak berwarna, dan berbau tajam.

1.1.1 Sejarah dan Perkembangan

Asam akrilat telah diproduksi secara komersil sejak tahun 1920, tetapi produksi secara besar baru dilakukan pada tahun 1925. Produksi asam akrilat pertama kali menggunakan metode *Acetylene Route*, dimana proses ini di temukan oleh *Walter Reppe*. Penemu mereaksikan nickel carbonyl dengan asetilen dan air untuk menghasilkan asam akrilat. Proses *Reppe* ini dimodifikasi oleh Rohm dan Haas pada tahun 1976 di *Houston* dan menghasilkan proses Oksidasi Propilen.

Di negara Amerika ada 5 perusahaan penghasil asam akrilat di antaranya :

- 1) Rohm dan Hass. Co Perusahaan ini menggunakan proses semi katalitik yang menggunakan alkohol, *nickel carbonyl*, *carbon monoxide*, dan *hydrogen chloride*.
- 2) Union Carbide Operate Perusahaan ini merupakan perusahaan yang pertama kali menggunakan proses oksidasi propilen untuk menghasilkan asam akrilat.
- 3) Celanese Perusahaan ini telah mendapatkan izin dari B.F. Goodrich dan dalam pembuatannya menggunakan proses *propiolactone route*.
- 4) Dow Badische Operate Perusahaan ini menggunakan Proses Reppe pada tekanan tinggi dengan proses esterifikasi untuk menghasilkan *etyl*, *butyl*, dan *2-ethylhexyl ester* dan *acrylic acid*.
- 5) B.F. Goodrich Perusahaan ini menggunakan *propiolactone route* untuk menghasilkan asam akrilat.

1.1.2 Alasan Pendirian Pabrik

Asam akrilat merupakan bahan kimia industri yang penting karena merupakan bahan kimia intermediate yang banyak digunakan dalam proses-proses produksi pada industri dan produk-produk konsumen. Ada dua kegunaan utama untuk asam akrilat. Yang pertama adalah dengan menggunakan asam akrilat sebagai intermediate bahan kimia dalam produksi ester akrilat dan resin. Ester akrilat meliputi etil akrilat, butil akrilat, metil akrilat, dan 2- etilheksil akrilat. Mereka kemudian dipolimerisasi dan menjadi bahan dalam formulasi cat, pelapis, tekstil (tenun dan non-woven), perekat, polis, dan plastik. Metil akrilat juga digunakan dalam pembuatan vitamin B1.

Pendirian pabrik asam akrilat di Indonesia diharapkan dapat memenuhi kebutuhan asam akrilat dalam negeri dan memenuhi kebutuhan negara-negara ASEAN lainnya serta meningkatkan pendapatan negara dari sektor pajak, menciptakan lapangan kerja, dan mendorong pertumbuhan industri. industri turunan asam akrilat di Indonesia.

1.1.3 Maksud dan Tujuan

1.1.3.1 Maksud

Maksud dari perancangan pabrik ini adalah untuk memenuhi kebutuhan Asam Akrilat di Indonesia dan dunia, karena produk ini banyak digunakan sebagai bahan baku maupun bahan intermediate pada pabrik kimia, maka dalam perancangan pabrik ini akan dirancang pabrik kimia yang memproduksi Asam Akrilat dari Propilen dan Oksigen.

1.1.3.2 Tujuan

Secara umum, tujuan Prarancangan pabrik pembuatan Asam Akrilat ini adalah menerapkan disiplin ilmu Teknik Kimia khususnya di bidang perancangan, proses, dan operasi teknik kimia sehingga dapat memberikan gambaran kelayakan Prarancangan Pabrik Pembuatan Asam Akrilat. Secara khusus, tujuan Prarancangan pabrik pembuatan Asam Akrilat ini adalah untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri akan Asam Akrilat sehingga dapat mengurangi ketergantungan impor Indonesia.

1.1.4 Analisa Pasar

Asam akrilak masih sedikit diproduksi di Indonesia. Satu-satunya pabrik yang memproduksinya di Indonesia adalah PT. Nippon Shokubai dengan kapasitas 140.000 ton/tahun. Meski permintaan dalam negeri tidak terlalu besar, hingga saat ini Indonesia masih mengimpor dari Jepang untuk memenuhi kebutuhannya. Di sisi lain, permintaan global akan asam akrilat berkembang sangat pesat. Permintaan global akan asam akrilat mentah diperkirakan akan meningkat 4,5% per tahun didorong oleh pertumbuhan Super Absorbent Polymer (SAP) sebesar 5,5% per tahun dan ester akrilik sebesar 4% per tahun selama 2016 - 2021 (IHS, 2017).

Pemasaran produk dapat dilakukan melalui jalur darat maupun laut. Asam akrilat yang dihasilkan dapat dipasarkan untuk industri polimer, cat, perekat dan tekstil yang juga berlokasi di Balongan, Indramayu. Selain itu, kedekatan lokasi pabrik dengan pelabuhan laut Balongan akan memudahkan pemasaran produk baik di dalam maupun di luar negeri.

1.1.5 Ketersediaan Bahan Baku

Proses pembuatan asam akrilat memerlukan bahan baku utama, yaitu propilen dan oksigen. Selain itu dalam perancangan pabrik pembuatan Asam akrilat ini juga menggunakan *Molybdenum Bismut* dan *Molybdenum vanadium* untuk masing-masing reactor dengan bentuk padatan sebagai katalisnya .

Oksigen didapatkan dari PT. Air Liquide Indonesia. kapasitas produksi disesuaikan dengan jumlah propilen dan oksigen yang tersedia di dalam negeri. Berikut ini data produsen yang memproduksi propilen dan oksigen di Indonesia:

Tabel 1.1. Produsen Propilen di Indonesia

Nama Perusahaan	Kapasitas (Ton/tahun)
PT. Chandra Asri Petrochemical	470.000
PT. Pertamina RU IV Balongan	179.000
PT. Pertamina RU IV Cilacap	142.000
Total	791.000

Tabel 1.2. Produsen Oksigen di Indonesia

Nama Perusahaan	Kapasitas (Ton/tahun)
PT. Air Liquide Indonesia	220.000
Total	220.000

1.1.6 Kebutuhan Produk

Produsen yang memproduksi asam akrilat di Indonesia sampai saat ini hanya ada satu perusahaan yaitu PT. Nippon Shokubai Indonesia. yang memproduksi 140.000 ton/tahun dengan persentase penjualan asam akrilat 81% untuk konsumsi dalam negeri dan 19% untuk diekspor ke Asia. Jumlah ini belum dapat memenuhi semua kebutuhan asam akrilat yang ada

di Indonesia sehingga kebutuhan asam akrilat dipenuhi dengan cara mengimpor dari beberapa perusahaan luar negeri.

1.1.7 Penentuan Kapasitas Produksi

Dalam menentukan jumlah kapasitas prarancangan pabrik asam akrilat ini perlu adanya pertimbangan beberapa hal yang diantaranya yaitu jumlah konsumsi dan produksi serta jumlah impor dan ekspor produk asam akrilat di Indonesia. Kebutuhan asam akrilat dari tahun ke tahun selalu mengalami peningkatan.

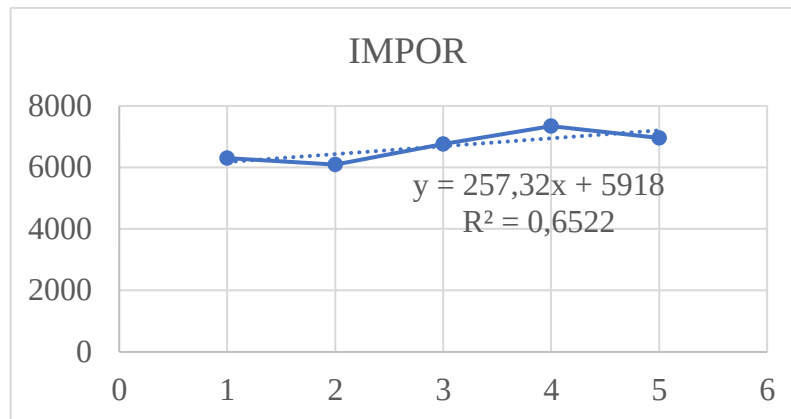
Kebutuhan asam akrilat di Indonesia dapat dilihat dari jumlah impor yang cenderung naik. Berdasarkan data yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik, proyeksi kecenderungan naiknya kebutuhan asam akrilat dapat dilihat dari tabel berikut (BPS, 2016-2020).

Tabel 1.3. Data Impor, Ekspor asam akrilat di Indonesia

X	TAHUN	JUMLAH (TON) Y	
		IMPOR	EKSPOR
1	2016	6298,348	22772,821
2	2017	6091,042	27596,712
3	2018	6758,778	26244,559
4	2019	7342,546	32860,54
5	2020	6959,187	33508,418
Rata-Rata		6689,98	28596,61

(Sumber : *Un comtrade*, 2021)

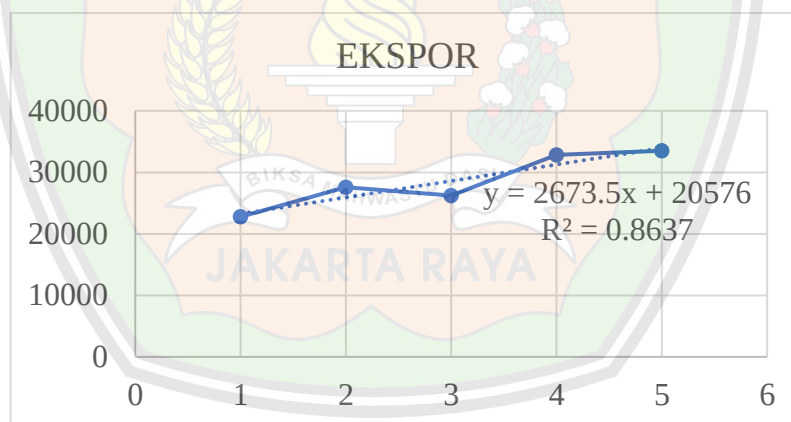
Berdasarkan data yang diperoleh dari tabel diatas maka dapat kita buat grafik untuk memperoleh regresi linear, maupun polynomial.



Gambar 1.1. Grafik Impor Asam akrilat

Perkiraan jumlah Impor pada tahun 2026 dapat dihitung menggunakan Regresi Linier yang telah diperoleh, yaitu :

$$\begin{aligned}
 y &= 257,32x + 5918 \\
 &= 257,32 (6) + 5918 \\
 &= 7461,92 \text{ Ton/tahun}
 \end{aligned}$$



Gambar 1.2. Grafik Ekspor Asam akrilat

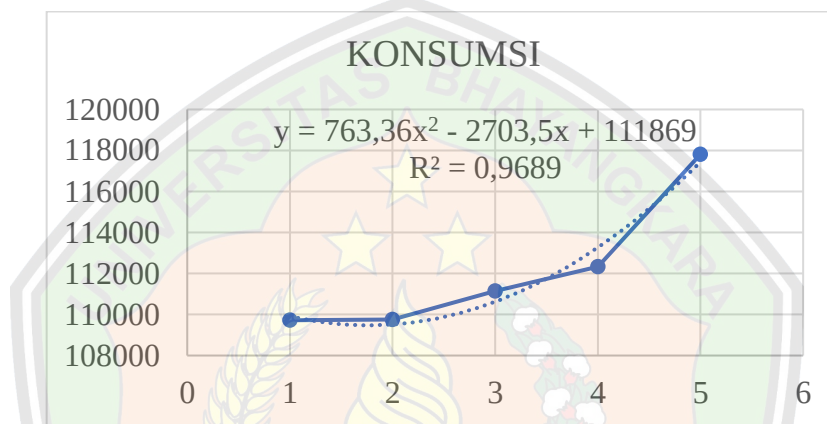
Perkiraan jumlah Ekspor pada tahun 2026 dapat dihitung menggunakan Regresi Linier yang telah diperoleh, yaitu :

$$\begin{aligned}
 y &= 2673,5x + 20576 \\
 &= 2673,5 (6) + 20576 \\
 &= 36617 \text{ Ton/tahun}
 \end{aligned}$$

Tabel 1.4. Konsumsi asam akrilat di Indonesia

X	TAHUN	JUMLAH (TON) Y
1	2011	109721,5
2	2012	109757,2
3	2013	111148,9
4	2014	112333,9
5	2015	117816,5

(Sumber : *Indexbox.io*, 2022)



Gambar 1.3. Grafik Konsumsi Asam akrilat

Perkiraan jumlah Konsumsi di Indonesia pada tahun 2026 dapat dihitung menggunakan Regresi Polynomial yang telah diperoleh, yaitu :

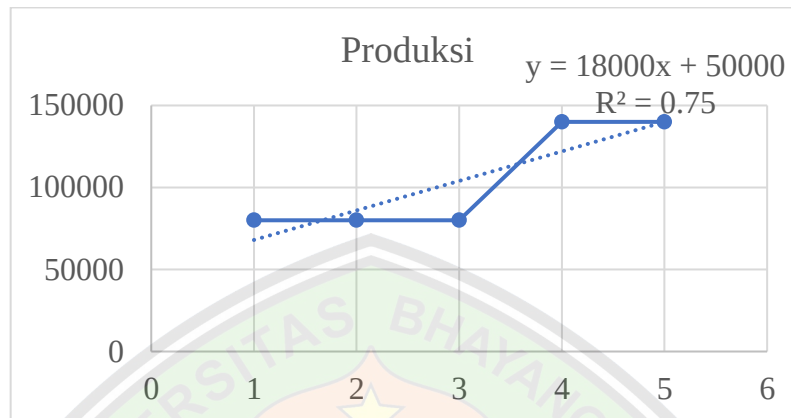
$$\begin{aligned}
 y &= 763,36x^2 - 2703,5x + 111869 \\
 &= 763,36 (11)^2 - 2703,5 (11) + 111869 \\
 &= 174.497,06 \text{ Ton/tahun}
 \end{aligned}$$

Tabel 1.5. Produksi asam akrilat di Indonesia

X	TAHUN	JUMLAH (TON) Y
1	2016	80000
2	2017	80000
3	2018	80000

4	2019	140000	
5	2020	140000	

(Sumber : Kemenperin, 2022)



Gambar 1.4. Grafik Produksi Asam akrilat

Perkiraan jumlah Produksi pada tahun 2026 dapat dihitung menggunakan Regresi Linier yang telah diperoleh, yaitu :

$$\begin{aligned}
 y &= 18000x + 50000 \\
 &= 18000 (6) + 50000 \\
 &= 158.000 \text{ Ton/tahun}
 \end{aligned}$$

Untuk mengetahui jumlah kapasitas produksi pabrik asam akrilat dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$m1 + m2 + m3 = m4 + m5$$

Keterangan :

m1 = Nilai impor tahun pabrik didirikan

m2 = Produksi pabrik didalam negeri

m3 = Kapasitas pabrik yang akan didirikan

m4 = Nilai ekspor tahun pabrik didirikan

m_5 = Nilai konsumsi dalam negeri tahun pabrik didirikan

(Kusnarjo, 2010)

Sehingga peluang kapasitas produksi pada tahun 2026 adalah,

$$m_1 + m_2 + m_3 = m_4 + m_5$$

$$m_3 = (m_4 + m_5) - (m_1 + m_2)$$

$$m_3 = (36617 + 174497,06) - (7461,92 + 158.000)$$

$$m_3 = (211.114,06) - (165.461,92)$$

$$m_3 = 45.652,14 \text{ Ton/tahun}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, kapasitas produksi asam akrilat ditentukan sebesar 45.000 ton/tahun dengan berbagai pertimbangan antara lain:

1. Mempertimbangkan ketersediaan alat
2. Mempertimbangkan ketersediaan bahan baku

1.1.8 Pemilihan Lokasi Pabrik

Secara geografis, penentuan lokasi pabrik sangat menentukan kemajuan serta kelangsungan dari suatu industri kini dan pada masa yang akan datang, karena berpengaruh terhadap faktor produksi dan distribusi dari pabrik yang didirikan. Pemilihan lokasi pabrik harus tepat berdasarkan perhitungan biaya produksi dan distribusi yang minimal serta pertimbangan sosiologi dan budaya masyarakat di sekitar lokasi pabrik.

Adapun faktor-faktor yang harus dipertimbangkan :

- a. Penyediaan bahan baku

Bahan baku merupakan salah satu kebutuhan utama bagi kelangsungan suatu pabrik untuk beroperasi sehingga ketersediaannya harus benar-benar diperhatikan. Bahan baku utama pembuatan asam akrilat adalah propilen yang diperoleh dari PT. Pertamina RU IV Balongan.

b. Lokasi pasar (market location)

Pemasaran produk asam akrilat yang akan didirikan ditujukan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri dan untuk ekspor. Asam akrilat yang dihasilkan dapat dipasarkan untuk industri-industri polimer, cat, perekat serta industri tekstil yang ada di Jawa barat terutama di daerah Balongan.

c. Alat angkutan (*transportation*)

Sarana transportasi untuk keperluan pengangkutan bahan baku dan pemasaran produk dapat ditempuh melalui jalur darat maupun laut. Pelabuhan dapat dijadikan tempat berlabuh untuk kapal yang mengangkut bahan baku maupun produk. Dengan tersedianya sarana baik darat maupun laut maka diharapkan kelancaran kegiatan proses produksi.

d. Keadaan Iklim

Penentuan suatu kawasan industri terkait dengan masalah tanah yaitu tidak rawan terhadap bahaya tanah longsor, gempa maupun banjir. Jadi, pemilihan lokasi pabrik di kawasan industri Balongan tepat, karena kondisi iklim di Balongan seperti iklim di Indonesia pada umumnya.

e. Tenaga Kerja

Tenaga kerja di Indonesia cukup banyak, sehingga penyediaan tenaga kerja tidak begitu sulit diperoleh. Tenaga kerja yang berpendidikan menengah atau kejuruan dapat diambil dari daerah sekitar pabrik, sedangkan untuk tenaga kerja ahli dapat didapatkan dari luar daerah atau kota lain.

f. Sosial Masyarakat

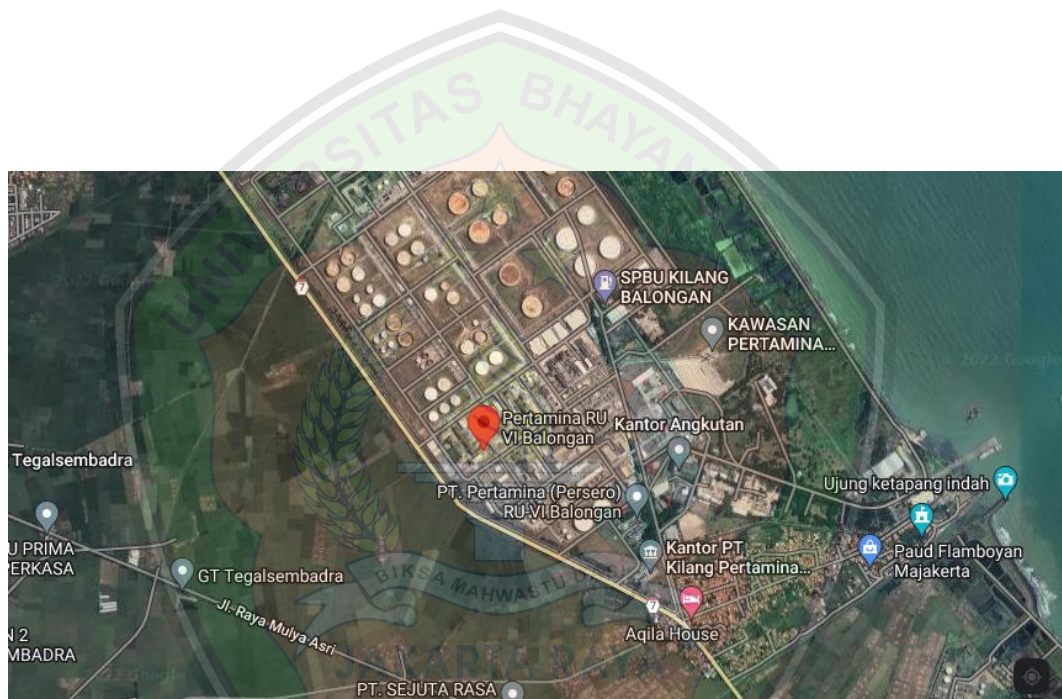
Sikap masyarakat diperkirakan akan mendukung pendirian pabrik pembuatan Asam Akrilat karena akan menjamin tersedianya lapangan kerja bagi mereka. Selain itu pendirian pabrik ini diperkirakan tidak akan mengganggu keselamatan dan keamanan masyarakat di sekitarnya.

b. Utilitas

Utilitas yang dibutuhkan adalah keperluan tenaga listrik, air dan bahan bakar. Kebutuhan tenaga listrik didapat dari PLN setempat dan dari generator

pembangkit yang dibangun sendiri. Kebutuhan air dapat diambil dari Sungai Cimanuk baru, sedangkan kebutuhan bahan bakar dapat diperoleh dari Pertamina dan distributornya sebagai pemasok bahan bakar solar.

Berdasarkan pertimbangan dan faktor-faktor di atas, maka ditentukan rencana pendirian pabrik asam akrilat ini berlokasi di Kelurahan Sukaaurip Kecamatan Balongan Kabupaten Indramayu. Alasan pemilihan lokasi ini adalah karena pabrik dekat dengan bahan baku propilen dari PT. Pertamina RU IV Balongan, dan masih sedikit pabrik kimia sehingga mengurangi pesaing.



Sukaaurip, Balongan, Kabupaten Indramayu

Gambar 1.1. Lokasi Pendirian Pabrik

1.2 Tinjauan Pustaka

1.2.1 Asam Akrilat

Asam akrilat adalah senyawa organik dengan rumus $C_3H_4O_2$ yang dikenal dengan nama lain *acroleic acid*, *2-propenoic acid*, *vinilformic acid*, *propene acid* dan *ethylenecarboxylic acid*. Asam ini merupakan asam karboksilat yang paling sederhana yang terdiri dari gugus vinil terhubung langsung ke terminal asam karboksilat. Berupa cairan tak berwarna yang memiliki bau tajam atau khas yang larut dalam air, alkohol, eter, dan kloroform.

Asam akrilat merupakan bahan kimia industri yang penting karena merupakan bahan kimia *intermediate* yang banyak digunakan dalam proses-proses produksi pada industri dan produk-produk konsumen. Ada dua penggunaan utama untuk asam akrilat. Yang pertama adalah dengan menggunakan asam akrilat sebagai *intermediate* bahan kimia dalam produksi ester akrilat dan resin. Ester akrilat meliputi etil akrilat, butil akrilat, metil akrilat, dan 2- etilheksil akrilat. Mereka kemudian dipolimerisasi dan menjadi bahan dalam formulasi cat, pelapis, tekstil (tenun dan *non-woven*), perekat, polis, dan plastik. Metil akrilat juga digunakan dalam pembuatan vitamin B1.

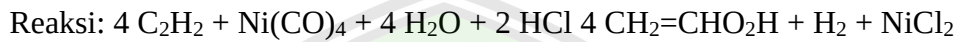
Penggunaan kedua asam akrilat adalah sebagai sebuah blok bangunan dalam produksi polimer asam poliakrilat. Polimer-polimer ini merupakan jenis *cross-linked poliacrilat* dan *absorben* dengan kemampuan untuk menyerap dan mempertahankan lebih dari seratus kali berat mereka sendiri. Mereka digunakan untuk membuat popok, dan produk kesehatan feminin. Asam akrilat juga digunakan dalam produksi polimer dan deterjen dalam produksi flokulan yang digunakan dalam pengelolaan air limbah pabrik

1.2.2 Seleksi Proses

Proses pembuatan Asam Akrilat dapat dilakukan dengan berbagai cara, antara lain sebagai berikut :

1. Acetylene Route (Proses Asetilen)

Pembuatan asam akrilat secara komersil dilakukan dengan memisahkan nikel klorida dan mengembalikannya ke reaksi sintesa nikel karbonil. Proses ini menghasilkan produk samping yaitu asam propionat yang sangat sulit dipisahkan dari asam akrilat.



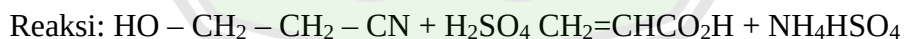
2. Acrylonitrile Route (Proses Akrilonitril)

Proses ini adalah proses hidrolisa asam sulfat dan akrilonitril. Akrilonitril direaksikan dengan asam sulfat dan air yang berlebih pada suhu 100°C menghasilkan asam akrilat. Kelemahan proses ini adalah mahal nya bahan baku yang digunakan.



3. Ethylene Cyanohidrin Route (Proses Etilen Sianohidrin)

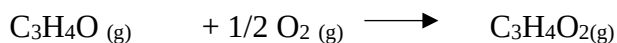
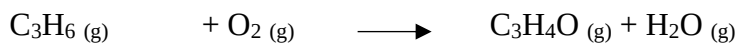
Proses ini adalah proses hidrolisa antara *ethylene cyanohidrin* dan asam sulfat dengan produk samping amonium sulfat dari 85% asam sulfat.



4. Propylene Oxidation Route (Proses Oksidasi Propilen)

Proses yang paling ekonomis untuk pembuatan asam akrilat yang didasarkan pada dua tahap, pertama menghasilkan akrolein kemudian dioksidasi menjadi asam akrilat.

Reaksi:



Reaksi ini di bantu oleh katalis Molybdenum Bismut dan Molybdenum Vanadium, konversi propilen yang terjadi pada tahap satu 97,40% dan tahap dua pembentukan asam akrilat sebesar 98,30%.

Tabel 1.6. Parameter Pemilihan Proses

Parameter	Proses Asetilen	Proses Akrilonitril	Proses Etilen Sianohidrin	Proses Oksidasi Propilen
Bahan Baku	Asetilena	Akrilonitril, Air	Etilen oksida	Propena
	Karbon Monoksida	Asam Sulfat	Asam sianida	Oksigen
	Etanol	Metanol	Asam sulfat, Metanol	
Kondisi Operasi :	P : 138 atm	P : -	P : 1 atm	P : 4 atm
	T : 200°C	T : 145-155°C	T : 50-200°C	T : 250-330°C
Konversi	85%	95-97%	30-70%	98,3%
Katalis	Nikel Bromida dan Copper (II) Bromida		Palladium/Rhenium Chloride	Molibdenum Bismut dan Molibdenum Vanadium
Jenis Reaktor	Fixed Bed	RATB	RATB	Fixed Bed
Fase Dalam Reaktor	Cair dan Gas	Cair	Cair	Gas

Berdasarkan tabel di atas, maka dari lima macam proses pembuatan Asam Akrilat dipilih proses oksidasi dengan katalis padat (*Propylene Oxidation Route* /Proses Oksidasi Propilen) dengan pertimbangan :

- Konversi yang diperoleh cukup tinggi yaitu pada tahap satu sebesar 97,40% dan tahap dua sebesar 98,30%.
- Komposisi yang terdapat dalam bahan baku cukup sederhana sehingga pengendalian proses relatif mudah.
- Proses dan peralatan yang digunakan sederhana sehingga biaya pemeliharaan dan pengendalian lebih lebih murah.

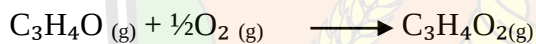
1.2.3 Tinjauan Termodinamika

Termodinamika merupakan cabang ilmu fisika yang mempelajari kalor (panas) dan cara perpindahannya. Termodinamika menjadi salah satu dasar ilmu fisika selain mekanika dan elektromagnetik. Tinjauan secara termodinamika digunakan untuk mengetahui sifat reaksi tersebut, membutuhkan panas (endotermis) atau melepaskan panas (eksotermis), sedangkan untuk menentukan apakah reaksi bolak-balik atau searah yaitu dengan menentukan harga K, jika harga K lebih besar daripada 1 (satu) maka reaksi akan berjalan ke arah kanan (searah), dan jika harga K lebih kecil daripada 1 (satu) maka reaksi akan berjalan ke arah kanan dan kiri (bolak-balik).

Reaksi yang terjadi pada reaktor I :



Reaksi yang terjadi pada reaktor II :



Tabel 1.7. Harga ΔH°_f dan ΔG°_f masing-masing Komponen

Komponen	Harga ΔH°_f (kJ/kmol)	Harga ΔG°_f (kJ/kmol)
C_3H_6	19.7	104,5
O_2	0.00	0.00
$\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2$	-323.5	-286,06
H_2O	-241.8	-227.36
$\text{C}_3\text{H}_4\text{O}$	-84	-55,98
CO_2	-393.5	-394,4

a. Reaksi I :

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{\text{reaksi}} &= \Delta H^\circ_f \text{ produk} - \Delta H^\circ_f \text{ reaktan} \\
 &= (\Delta H^\circ_f \text{ C}_3\text{H}_4\text{O} + \Delta H^\circ_f \text{ H}_2\text{O}) - (\Delta H^\circ_f \text{ C}_3\text{H}_6 + \Delta H^\circ_f \text{ O}_2) \\
 &= (-325,8) - (19,7) \\
 &= -345,5 \text{ kJ/kmol}
 \end{aligned}$$

b. Reaksi II :

$$\begin{aligned}\Delta H_{\text{reaksi}} &= \Delta H^{\circ}f \text{ produk} - \Delta H^{\circ}f \text{ reaktan} \\ &= (-323,5) - (-84) + \frac{1}{2} \cdot 0 \\ &= -239,5 \text{ kJ/kmol}\end{aligned}$$

Hasil ΔH_{R298} bernilai negatif, maka reaksi pembentukan Asam Akrilat bersifat eksotermis atau menghasilkan panas selama reaksi berlangsung.

Dengan meninjau energi bebas Gibbs (ΔG)

$$-\Delta G^{\circ} = RT \ln K$$

(pers. 9-11, Smith & Van Ness)

Dimana :

ΔG° = Energi bebas Gibbs standar, (kJ/mol)

R = Konstanta tetapan Gas Ideal (0,008314 kJ/mol.K)

T = Suhu (K)

K = Konstanta keseimbangan

Reaksi I

$$\begin{aligned}\Delta G^{\circ}_{R298 K} &= \Delta G^{\circ}f \text{ produk} - \Delta G^{\circ}f \text{ reaktan} \\ &= (\Delta G^{\circ}f \text{ C}_3\text{H}_4\text{O}_2 + \Delta G^{\circ}f \text{ H}_2\text{O}) - (\Delta G^{\circ}f \text{ C}_3\text{H}_6 + \Delta G^{\circ}f \text{ O}_2) \\ &= ((-55,98) + (-227,36)) - (104,5 + 0) \\ &= -387,84 \text{ kJ/kmol}\end{aligned}$$

Karena nilai $\Delta G^{\circ}(298 \text{ K}) = -387,84 \text{ kJ/kmol}$, maka reaksi bersifat spontan

$$-\Delta G^{\circ} = RT \ln K$$

$$\begin{aligned}K^{298} &= \exp\left(-\frac{\Delta G^{\circ}_{298}}{RT}\right) \\ &= \exp\left(-\frac{-387,84 \text{ kJ/kmol}}{0,008314 \text{ kJ/mol} \cdot 298 \text{ K}}\right) \\ &= \exp(156,5403) \\ K &= 9,6513 \times 10^{67}\end{aligned}$$

Reaksi dijalankan pada temperatur 330 °C, sehingga harga konstanta kesetimbangan K pada temperatur 603 K dapat dihitung dengan persamaan

sebagai berikut :

$$\frac{K_{operasi}}{K_{298}} = \exp - \frac{\Delta H^0}{R} \times \left[\frac{1}{T_{operasi}} - \frac{1}{T_{298}} \right]$$

$$\frac{K_{operasi}}{9,6513 \times 10^{67}} = \exp - \frac{-345,5}{0,008314} \times \left[\frac{1}{603} - \frac{1}{298} \right]$$

$$K_{operasi} = 2,4184 \times 10^{35}$$

Dari perhitungan diatas harga $K > 1$ yaitu $3,9915 \times 10^{32}$ sehingga produk tidak dapat kembali menjadi reaktan, diasumsikan bahwa reaksi bersifat irreversible.

Reaksi II

$$\Delta G^{\circ} R_{298} K = \Delta G^{\circ} f \text{ produk} - \Delta G^{\circ} f \text{ reaktan}$$

$$= (\Delta G^{\circ} f C_3H_4O_2) - (\Delta G^{\circ} f C_3H_4O + \Delta G^{\circ} f O_2)$$

$$= (-286,06) - (-55,98 + 0)$$

$$= -230,08 \text{ kJ/kmol}$$

Karena nilai $\Delta G^{\circ}(298 \text{ K}) = -230,08 \text{ kJ/kmol}$, maka reaksi bersifat spontan

$$-\Delta G^{\circ} = RT \ln K$$

$$K^{298} = \exp \left(- \frac{\Delta G^{\circ 298}}{RT} \right)$$

$$= \exp \left(- \frac{-230,08 \text{ kJ/kmol}}{0,008314 \text{ kJ/mol} \cdot 298 \text{ K}} \right)$$

$$= \exp (92,8651)$$

$$K = 2,1419 \times 10^{40}$$

Reaksi dijalankan pada temperatur 300°C, sehingga harga konstanta kesetimbangan K pada temperatur 598 K dapat dihitung dengan persamaan

sebagai berikut :

$$\frac{K_{operasi}}{K_{298}} = \exp - \frac{\Delta H^0}{R} \times \left[\frac{1}{T_{operasi}} - \frac{1}{T_{298}} \right]$$

$$\frac{K_{operasi}}{2,1419 \times 10^{40}} = \exp - \frac{-239,5}{0,008314} \times \left[\frac{1}{598} - \frac{1}{298} \right]$$

$$K_{operasi} = 4,0551 \times 10^{18}$$

Dari perhitungan diatas harga $K > 1$ yaitu $5,2819 \times 10^{21}$ sehingga produk tidak dapat kembali menjadi reaktan, diasumsikan bahwa reaksi bersifat irreversible.

1.2.4 Tinjauan Kinetika

Kinetika berhubungan erat dengan kecepatan reaksi kimia. Faktor konsentrasi, suhu dan tekanan sangat berpengaruh terhadap konstanta kecepatan reaksi maupun pada kecepatan reaksi. Adapun, reaksi pembentukan asam akrilat dari propilen dan oksigen adalah sebagai berikut :



Tabel 1.3. Stokiometri mol pada reaktor

Komponen	Mula-mula	Reaksi	Akhir
A	N_{A0}	$- N_{A0}X_A$	$N_A = N_{A0} (1 - X_A)$
B	N_{B0}	$- N_{A0}X_A$	$N_B = N_{B0} - N_{A0}X_A$
C	-	$N_{A0}X_A$	$N_C = N_{A0} - X_A$
D	-	$N_{A0}X_A$	$N_D = N_{A0} - X_A$

Kinetika reaksi oksidasi propylene merupakan reaksi orde 1 (Sumber : Union Carbide Corporation seperti tercantum dalam www.che.cemr.wvu.edu/publications/projects/largeproj/Akrolein.PDF)

$$C_A = \frac{N_A}{V}$$

$$= \frac{N_{A0} (1-X_A)}{V}$$

$$= C_{A0} (1-X_A)$$

Maka,

$$-r_A = k C_A$$

$$= k C_{A0} (1-X_A)$$

Diketahui :

$$C_{A0} = 0,0005666 \text{ kmol/liter}$$

$$\text{Suhu Operasi} = 603^\circ\text{K}$$

$$\text{Konversi} = 97,30\%$$

$$\text{Waktu reaksi} = 7,2 \text{ detik} = 0,002 \text{ jam}$$

$$k = \frac{0,973}{0,002 \text{ jam} \times 0,0005655(1-0,973)}$$

$$k = 25121,3466 \text{ liter/kmol.jam}$$

T (K)	k (m ³ /kmol.jam)
603	25,1213

$$\ln (25,1213) = \ln A + (-E/R) (1/603)$$

$$3,22371 = 0,00165 (-E/R)$$

$$(-E/R) = 1953,763$$

$$\ln (25,1213) = \ln A + 1953,763 (1/603)$$

$$3,22371 = \ln A + 3,22371$$

$$\ln A = 0$$

$$A = 1,59 \times 10^5 \text{ (m}^3\text{/kmol.jam)}$$

$$R = 8,314 \text{ (kJ/kmol.K)}$$

$$E = 15000 \text{ (kJ/kmol)}$$

Sehingga diperoleh persamaan nilai k sebagai fungsi suhu (T) :

$$k = 1,59 \times 10^5 \exp [-15000/RT) \text{ m}^3/\text{kmol.jam}$$

Keterangan :

$-r_A$ = Laju reaksi

k = Konstanta laju reaksi (liter/kmol.jam)

X_A = Konversi

C_{A0} = Konsentrasi awal

E_a = Energi aktivasi (kal/mol)

R = Konstanta gas (kal/mol.K)

T = Suhu (Kelvin)

1.2.5. Laju Reaksi

Laju reaksi kimia adalah jumlah mol reaktan per satuan volume yang bereaksi dalam satuan waktu tertentu.

$$r_i = \frac{1}{V} \frac{dN_i}{dt} = \frac{\text{jumlah mol } i \text{ yang terbentuk}}{(\text{volume fluida})(\text{waktu})}$$

$$-\frac{dc}{dt} = k_1 c$$

Kinetika reaksi oksidasi propylene merupakan reaksi orde 1 dan irreversible (Sumber : Union Carbide Corporation seperti tercantum dalam

www.che.cemr.wvu.edu/publications/projects/largeproj/Akrolein.PDF)

dengan reaksi kimia sebagai faktor yang paling berpengaruh.

Berikut cara menentukan orde reaksi dengan metode di bawah ini :

- a. Metode Integrasi, ialah mencocokkan persamaan laju reaksi dengan data hasil percobaan dengan metode integral ini adalah
 1. Pada sistem konstan volume, persamaan kecepatan reaksi penghilangan reaktan A akan mengikuti bentuk :

$$-r = \frac{dCA}{dt} = f(k, C)$$

atau pada kasus yang lebih terbatas dapat dituliskan sebagai :

$$-r = \frac{dCA}{dt} = k f(C)$$

- Persamaan diatas disusun ulang menjadi kemudian diintegrasikan menjadi :

$$-\frac{dCA}{f(C)} = k dt, \text{ kemudian diintegrasikan menjadi :}$$

$$-\int_{C_{A0}}^{CA} \frac{dCA}{f(CA)} = k \int_0^t dt = kt$$

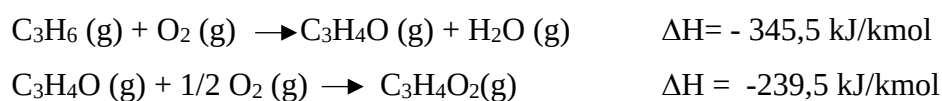
- Fungsi konsentrasi proporsional dengan waktu dan diplot sehingga menghasilkan garis lurus dengan slope k untuk persamaan kecepatan reaksi yang diuji.
- Dari eksperimen tentukan nilai integrasi-nya dan plot.
- Cek apakah data-data ini fit bagus dengan mekanisme yang diujikan. Bila tidak coba mekanisme lain.

Persamaan konstanta kecepatan reaksi pembentukan sebagai berikut :

Rumus kecepatan reaksi :

$$\begin{aligned} r_A &= k - \frac{-dCA}{dt} \\ &= 9,6513 \times 10^{67} - \frac{-345,5}{603} \\ &= 9,6513 \times 10^{67} \end{aligned}$$

Reaksi:



Karena ΔH nilainya negatif, maka reaksi berjalan secara eksotermis..

1.2.6. Energi Aktivasi

Merupakan energi minimum yang dibutuhkan agar reaksi kimia tertentu dapat terjadi. Dimana rumusnya sebagai berikut:

Suhu reaksi yang berlangsung :

$$K \frac{K_a}{K_i}$$

$$K_i \frac{K_a}{K} = \frac{9,6513 \times 10^{67}}{2,4184 \times 10^{35}} = 3,9907 \times 10^{32}$$

$$\ln\left(\frac{K_a}{K_i}\right) = \frac{E_a}{R} \times \left[\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right]$$

$$\ln \frac{9,6513 \times 10^{67}}{3,9907 \times 10^{32}} = \frac{E_a}{0,008314} \times \left[\frac{1}{603} - \frac{1}{298} \right]$$

$$\ln (2,4184 \times 10^{35}) = \frac{E_a}{0,008314} \times (1,6973 \times 10^3)$$

$$155,15 = E_a \times 204,1357$$

$$E_a = 1,3157 \text{ kJ/mol}$$

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT}$$

$$\ln 9,6513 \times 10^{67} = \ln A - \frac{E_a}{8,314}$$

$$156,540 = \ln A - 1804,1857$$

$$\ln A = 115,25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

1.2.7. Konstanta Laju Reaksi (k)

Tinjauan Kinetika dilakukan untuk mengetahui apakah reaksi berjalan searah (reversibel) atau bolak-balik (irreversibel). Perhitungan dilakukan dengan menghitung nilai K (konstanta kesetimbangan) pada keadaan standar (1 atm, 25⁰ C) dan pada suhu operasi yang berjalan, data tersebut sudah di dapatkan pada tinjauan termodinamika. Berikut rumus tetapan laju reaksi :

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

Keterangan :

k = konstanta laju reaksi

A = factor frekuensi atau pra-eksponensial ($\frac{L}{mol} \cdot s$)

E_a = energi aktivasi ($\frac{J}{mol}$)

R = konstanta gas (8,314 Jmol⁻¹K⁻¹)

T = suhu (K)

Diketahui:

$$A = 9,6513 \times 10^{67} \text{ kj/mol}$$

$$E_a = 1,3157 \text{ kj/mol}$$

$$R = 8,314 \text{ kj/mol}$$

$$T = 603 \text{ K}$$

$$\begin{aligned} k &= A e^{-\frac{E_a}{RT}} \\ &= 9,6513 \times 10^{67} e^{-\frac{1,3157}{8,314}} \\ &= 8,2383 \times 10^{67} \end{aligned}$$