

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara berkembang yang sedang memproyeksikan pemulihan ekonomi nasional melalui industri pengolahan nonmigas. Dikutip dari laman resmi kementerian perindustrian diketahui bahwa, pertumbuhan Produk Domestik Bruto (PDB) industri pengolahan nonmigas juga akan terus berlanjut dengan peningkatan ekspor dan *Purchasing Manager's Index* (PMI) manufaktur Indonesia yang meningkat. Prediksi pertumbuhannya akan terkontraksi sekitar 4,5% hingga 5%. Adapun subsektor yang mendukung perbaikan kinerja manufaktur nasional, antara lain adalah industri farmasi, produk, obat kimia dan obat tradisional, industri bahan kimia dan barang dari bahan kimia, industri logam dasar, serta industri makanan. Pengembangan industri nasional diarahkan guna meningkatkan daya saing agar mampu masuk dalam pasar internasional dan dapat mempertahankan pasar dalam negeri.

Asam akrilat adalah salah satu senyawa kimia yang banyak digunakan di industri baik sebagai bahan baku maupun sebagai bahan *intermediate*. Asam akrilat mempunyai kegunaan di industri yaitu antara lain untuk pembuatan ester akrilik, polimer, resin yang di polimerisasi menjadi bahan perekat, pelapis, polis. Selain itu, pembuatan plastik adalah salah satu pemanfaatan asam akrilat. Kemudian dalam pengolahan limbah asam akrilat sebagai flokulannya, sebagai surfaktan, resin, cat, pengkilap lantai (*floor polisher*), pada minyak sebagai bahan aditif, digunakan juga pada industri kosmetik serta industri tekstil, dan pembuatan karet sintetis dari turunan yang berupa asam akrilat monomer (Shu Tao Wu, et al., 2020).

Selain itu turunan dari asam akrilat digunakan sebagai bahan baku produk *Super Absorbent Polymer* (SAP) seperti diapers (popok sekali pakai). Di mana saat ini sudah di produksi di empat wilayah yaitu Jepang, Amerika, Eropa dan China. Permintaan global untuk asam akrilat diperkirakan meningkat 3,5-4% per tahun selama 2020-2025 (IHS Markit, 2020).

Pabrik asam akrilat yang telah berdiri di Indonesia saat ini hanya PT Nippon Shokubai di Cilegon dengan kapasitas 240.000 ton/tahun. Namun sebagian besar produksinya masih di ekspor ke luar negri sehingga kebutuhan di dalam negri belum cukup terpenuhi. Kebutuhan asam akrilat di Indonesia sebagian masih impor dari negara China, Jepang, dan Korea Selatan. Oleh karena itu, terdapat peluang mendirikan pabrik asam akrilat di Indonesia untuk mengurangi impor asam akrilat.

Asam akrilat telah diproduksi secara komersial sejak tahun 1847 melalui oksidasi akrolein dengan udara. Pada mulanya, akrolein dibuat dengan mengoksidasi propilen. Sampai saat ini, bahan baku propilen masih menjadi komoditas utama dalam pembuatan asam akrilat di dunia (KirkOthmer, 1984). Namun karena ketersediaan propilen sebagai bahan baku yang tidak terbarukan, maka dilakukan pergantian bahan baku menjadi bahan baku yang lebih terbarukan dan ramah lingkungan serta harga komoditas yang lebih murah, salah satunya menggunakan bahan baku gliserol (US. Patent 9371261 B2, 2008).

1.2 Rumusan Masalah

Meningkatnya penggunaan plastik, kebutuhan pabrik plastik akan asam akrilat sebagai bahan aditif plastik, serta penanggulangan kebutuhan asam akrilat dalam negeri menjadi pertimbangan pembangunan pabrik asam akrilat. Prancangan pabrik asam akrilat melalui proses dehidrasi oksidasi dapat meningkatkan nilai ekonomis dengan biaya yang rendah dibandingkan dengan proses.

1.3 Tujuan Perancangan Pabrik

Tujuan prancangan pabrik asam akrilat ini adalah merancang proses produksi asam akrilat dengan proses dehidrasi oksidasi, untuk menerapkan disiplin ilmu Teknik Kimia khususnya di bidang perancangan, proses dan operasi teknik kimia sehingga dapat memberikan gambaran kelayakan prarancangan pabrik asam akrilat. Secara khusus, tujuan prarancangan pabrik ini adalah untuk mengurangi ketergantungan impor Indonesia serta menjadi pemasok asam akrilat bagi negara lain untuk menambah devisa negara sekaligus membuka lapangan pekerjaan baru.

1.4 Manfaat Perancangan Pabrik

Pendirian pabrik asam akrilat akan sangat tepat dan banyak memberikan dampak positif dalam segala bidang, antara lain:

1. Mencukupi jumlah kebutuhan asam akrilat dalam negeri yang diperkirakan akan terus meningkat sekaligus mengurangi ketergantungan Indonesia pada negara lain dengan membatasi jumlah import setiap tahunnya.
2. Memacu pertumbuhan industri-industri baru yang menggunakan bahan baku maupun bahan penunjang asam akrilat seperti industri plastic, tekstil dan industri petrokimia lainnya.
3. Dibukanya lapangan kerja baru, mengurangi tingkat pengangguran di Indonesia, dan meningkatkan devisa Negara

1.5 Batasan Masalah

Prarancangan pabrik *asam akrilat*, penyusun membatasi pada pemilihan bahan baku utama yaitu gliserol menggunakan proses dehidrasi oksidasi, neraca massa, neraca energi, spesifikasi peralatan, tugas khusus, unit utilitas, kapasitas prarancangan pabrik, analisa ekonomi, aspen hysys, autodesk P&ID

1.6 Kapasitas Pra-rancangan Pabrik

Kapasitas produksi pabrik akan mempengaruhi perhitungan teknis maupun ekonomis dalam perancangan pabrik. Dalam menentukan kapasitas prarancangan pabrik asam akrilat perlu dipertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

1.6.1 Kapasitas Asam Akrilat Di Dunia

Data-data kapasitas pabrik yang telah beroperasi penghasil asam akrilat di dunia dapat dilihat pada Tabel 1.1 Asam Akrilat

Tabel 1.1 Data Produksi Asam Akrilat Beserta Kapasitas di Dunia

| No | Pabrik | Lokasi | Kapasitas (ton/tahun) |
|----|-------------------|--------------------|-----------------------|
| 1. | Akrilat Dzerhinsk | Russia | 25.000 |
| 2. | American Acryl | Bayport, Texas, US | 120.000 |

| | | | |
|-----|-------------------------------|-------------------------|---------|
| 3. | Arkema | Carling, France | 275.000 |
| 4. | Ludwigshafen | Germany | 270.000 |
| 5. | BASF | Antwerp, Belgium | 320.000 |
| 6. | BASF Petronas Kuantan | Malaysia | 160.000 |
| 7. | BASF – YPC | Nanjing, China | 160.000 |
| 8. | Beijing Eastern Petrochemical | Beijing, China | 80.000 |
| 9. | Celanese | Cangrejera, Mexico | 40.000 |
| 10. | Dow Chemical | Bohlen, Germany | 80.000 |
| 11. | Formosa Plastics | Kaohsiung, Taiway | 60.000 |
| 12. | Hexion | Sokolov, Czech Republic | 55.000 |
| 13. | Idemitsu Petrochemical | Aichi, Japan | 50.000 |
| 14. | Jiangsu Jurong Chemical | Yangcheng, China | 205.000 |
| 15. | Jilin Petrochemical | Jilin, China | 35.000 |
| 16. | LG Chem | Naju, South Korea | 65.000 |
| 17. | Mitsubishi Chemical | Yokkaichi, Japan | 110.000 |
| 18. | Nippon Shokubai | Himeji, Japan | 360.000 |
| 19. | Oita Chemical | Oita, Japan | 60.000 |
| 20. | Sasol Acrylates | Sasolburg, South Afrika | 80.000 |
| 21. | Shanghai Huayi | Shanghai, China | 200.000 |
| 22. | Singapore Acrylics | Pulau Sakra, Singapore | 75.000 |
| 23. | StoHaas Monomer | Deer Park, Texas , US | 165.000 |
| 24. | Tri Polytac Acrylindo | Cilegon, Indonesia | 60.000 |
| 25. | Others China | Various, China | 280.000 |

(Sumber: Tecnon OrbiChem, 2021)

1.6.2 Kapasitas Asam Akrilat Di Asia Tenggara

Pertumbuhan ekonomi yang kuat di negara berkembang ditambah dengan meluasnya sektor manufaktur diperkirakan akan mendorong pertumbuhan pasar asam akrilat dan meningkatnya standar hidup seiring dengan meningkatnya investasi industri diharapkan dapat terus menguatkan pertumbuhan pasar. Adapun data kebutuhan asam akrilat di Asia Tenggara dapat dilihat pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2 Data Kebutuhan Asam Akrilat Di Asia Tenggara Di Tahun 2022

| No | Negara | Jumlah Kebutuhan (Ton/Tahun) |
|----|-----------|------------------------------|
| 1. | Brunei | 73.514 |
| 2. | Kamboja | 51.135 |
| 3. | Loas | 45.011 |
| 4. | Malaysia | 17.879 |
| 5. | Myanmar | 74.856 |
| 6. | Philipina | 32.906 |
| 7. | Singapura | 62.036 |
| 8. | Thailand | 39.567 |
| 9. | Vietnam | 15.425 |

(Sumber: UN Data, 2022).

1.6.3 Kapasitas Produksi Asam Akrilat Di Indonesia

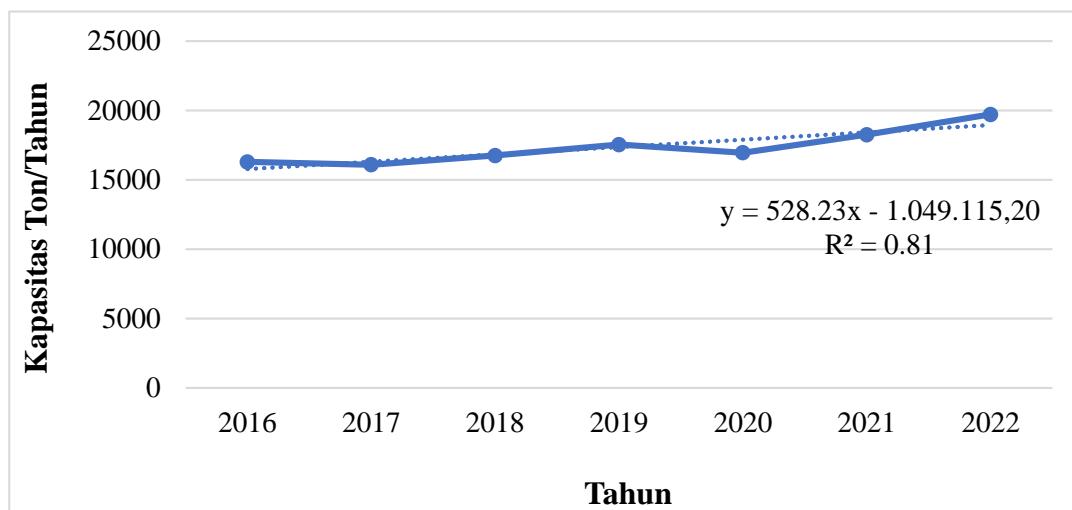
Data kebutuhan asam akrilat di Indonesia dilihat dari peninjauan data impor negara Indonesia terhadap asam akrilat. Berdasarkan data impor dari Badan Pusat Statistik di Indonesia dari tahun 2016 – 2022. Adapun data kebutuhan asam akrilat di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.3.

Tabel 1.3 Data Kebutuhan Asam Akrilat di Indonesia Tahun 2022

| Tahun | Jumlah Kebutuhan (Ton/Tahun) |
|-------|------------------------------|
| 2016 | 16.298,35 |
| 2017 | 16.091,04 |
| 2018 | 16.758,78 |
| 2019 | 17.541,68 |
| 2020 | 16.959,19 |
| 2021 | 18.254,17 |
| 2022 | 19.719,58 |

(Sumber: BPS, 2022).

Dari data impor dapat dibuat grafik linear antara data tahun pada sumbu x dan data impor pada sumbu y, Grafik dapat dilihat pada Gambar 1.1



Gambar 1.1 Grafik Impor Asam Akrilat di Indonesia

Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat bahwa persamaan yang diperoleh adalah $y = 528,23x - 1.049.115,20$ dengan $R^2 = 0,81$. Kebutuhan asam akrilat di Indonesia tiap tahunnya mengalami kenaikan sesuai dengan persamaan garis lurus: $y = 528,23x - 1.049.115,20$ dimana y adalah kebutuhan asam akrilat pada tahun tertentu dalam ton, sedangkan x adalah tahun ke yang akan dihitung. Kebutuhan impor asam akrilat di Indonesia pada tahun 2028 adalah sebagai berikut:

$$y = 528,23x - 1.049.115,20$$

$$y = 528,23 (2028) - 1.049.115,20$$

$$y = 22.135$$

Sehingga kebutuhan impor asam akrilat di Indonesia pada tahun 2028 diperkirakan sebesar 22.135 ton/tahun. Prediksi data kebutuhan impor pada tahun 2023 sampai 2028 menggunakan cara ekstrapolasi juga dapat dilihat pada Tabel 1.4

Tabel 1.4 Prediksi Data Kebutuhan Asam Akrilat dalam Negeri

| Tahun | Jumlah Kebutuhan (Ton/Tahun) |
|-------|------------------------------|
| 2023 | 19.494,09 |
| 2024 | 20.022,32 |
| 2025 | 20.550,55 |
| 2026 | 21.078,78 |
| 2027 | 21.607,01 |
| 2028 | 22.135,24 |

(Sumber: Data Ekstrapolasi, 2022).

Kebutuhan asam akrilat di dalam negeri untuk tahun 2028 dapat diperkirakan dengan cara ekstrapolasi hasilnya 22.135,24 Ton/Tahun. Sementara itu produksi asam akrilat di indonesia hanya dilakukan oleh PT. Nippon Shoukubai dengan kapasitas 240.000 Ton/Tahun. Sedangkan kebutuhan asam akrilat di luar negeri berada pada kisaran 25.000 – 360.000 Ton/Tahun. Untuk membantu memenuhi kebutuhan asam akrilat dalam negeri dan luar negeri, maka diambil 120.000 Ton/Tahun. Pada prarancangan pabrik asam akrilat ini direncanakan berdiri pada tahun 2028 dengan kapasitas 120.000 ton/tahun melalui pertimbangan sebagai berikut :

- a. Kapasitas pabrik yang akan didirikan harus berada diatas kapasitas minimal atau sama dengan kapasitas pabrik yang sedang berjalan dan kapasitas pabrik baru yang menguntungkan (Mc. Ketta,1976).
- b. Kapasitas produksi pabrik asam akrilat yang sudah beroperasi di dunia berkisar 25.000 ton/tahun sampai 360.000 ton/tahun.
- c. Total kebutuhan dalam negeri pada saat pabrik beroperasi tahun 2028 adalah sebesar 22.135,24 ton/tahun dan kemungkinan akan terus meningkat.
- d. Kapasitas prarancangan pabrik asam akrilat ini sebesar 120.000 ton/tahun.

1.7 Pemilihan Proses

Pembuatan asam akrilat memiliki beberapa proses yang memiliki kelebihan dan kekurangan dari setiap prosesnya, maka jika ditinjau setiap prosesnya dapat dijabarkan sebagai berikut:

1.7.1 Proses Katalitik Oksidasi

Bahan baku yang digunakan dalam proses ini adalah Propilen (C_3H_6). Proses tahap pertama dalam produksi asam akrilat adalah oksidasi katalitik propilen menjadi akrolein. Pada tahap ini, propilen (C_3H_6) direaksikan dengan oksigen (O_2) dari udara dalam fase gas dengan bantuan katalis padat. Reaksi berlangsung dalam reaktor fixed-bed tubular pada suhu tinggi sekitar 400–500°C dan tekanan mendekati atmosferik. Katalis yang umum digunakan merupakan oksida campuran berbasis molibdenum (Mo) dan bismut (Bi), yang efektif untuk mengarahkan reaksi ke pembentukan akrolein secara selektif.

Pada tahap kedua dalam produksi asam akrilat dari propilen melalui jalur oksidasi katalitik. Pada tahap ini, akrolein (C_3H_4O), yang dihasilkan dari oksidasi awal propilen, diumpulkan ke dalam reaktor bersama udara sebagai sumber oksigen. Akrolein dioksidasi secara selektif menjadi asam akrilat ($C_3H_4O_2$) dengan menghasilkan air sebagai produk samping. Reaksi ini bersifat eksotermis, sehingga kontrol suhu yang baik sangat penting untuk menjaga kestabilan katalis dan mencegah reaksi samping seperti pembakaran total menjadi karbon dioksida. Setelah keluar dari reaktor, campuran produk didinginkan dan dikondensasikan, lalu dipisahkan untuk memperoleh asam akrilat murni melalui proses pemurnian. Bahan baku yang murah dan proses yang mudah menjadi alasan pelaku industri untuk tetap menggunakan proses ini. Namun bahan baku yang tidak dapat terbarukan menjadi tantangan terbesar dalam penggunaannya.

Reaksi yang terjadi adalah:

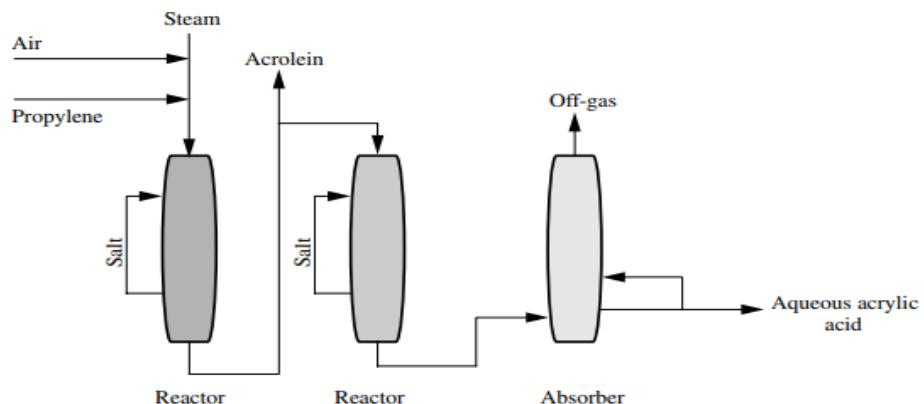


Propilen Akrolein Uap Air $\Delta H_{298} = -378,1 \text{ kJ/mol}$
(Kirk Othmer, 1984)



Akrolein Oksigen Asam Akrilat $\Delta H_{298} = -265,2 \text{ kJ/mol}$
(Kirk Othmer, 1984)

Berdasarkan buku dari McGraw Hill *Handbooks* (Speight, 2002), *flow diagram* produksi asam akrilat dengan Proses *Catalytic Oxidation* dapat dilihat pada Gambar 1.2



Gambar 1.2 Flowsheet Proses Catalytic Oxidation
Sumber : (Speight, 2002)

1.7.2 Proses Akrilonitril *Route*

Proses hidrolisa Asam Sulfat dan *Acrylonitril*. Akrilonitril direaksikan dengan asam sulfat dan air yang berlebih pada suhu 100°C sehingga menghasilkan asam akrilat. Kerugian proses ini adalah mahalnya bahan baku yang digunakan. Hasil akrilonitril berdasarkan propilena umumnya lebih rendah daripada hasil asam akrilat berdasarkan oksidasi langsung propilena.

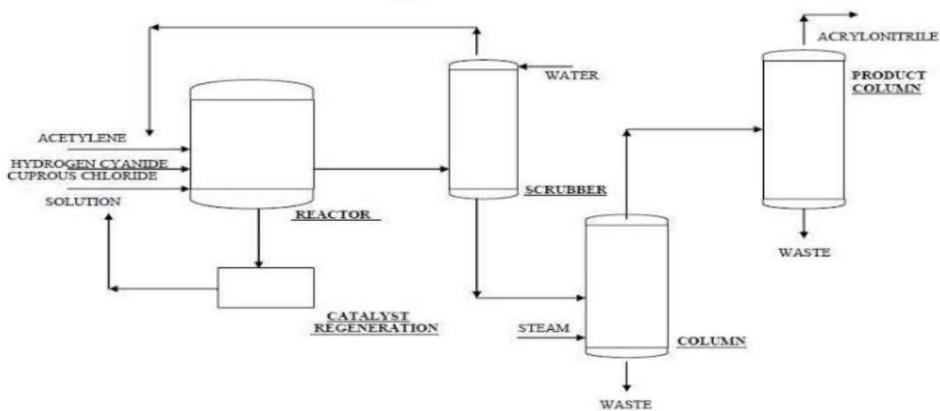
Reaksi yang terjadi:



Akrilonitril Asam Sulfat Air Asam Akrilat Amonium Bisulfat

$$\Delta H_{298} = 367,9 \text{ kJ/mol}$$

Hidrolisis asam sulfat dapat dilakukan sebagai operasi batch atau kontinyu. Akrilonitril diubah menjadi akrilamida sulfat dengan perlakuan dengan sedikit kelebihan asam sulfat 85% pada 80-100°C. Waktu penahanan sekitar 1 jam memberikan percakapan lengkap akrilonitril. Campuran reaksi dapat dihidrolisis dan asam akrilat berair diperoleh kembali dengan ekstraksi dan dimurnikan seperti yang dijelaskan di bawah proses oksidasi propilena sebelum esterifikasi. Sebagai alternatif, setelah reaksi dengan alkohol berlebih, campuran ester akrilik dan alkohol didistilasi dan kelebihan alkohol diperoleh kembali dengan distilasi ekstraktif aquaoeus. Ester dalam kedua kasus dimurnikan dengan distilasi. Berdasarkan dari *Petrochemical Process* (Chauvel & Lefebvre, 1989), *flow diagram* produksi asam akrilat dengan proses *Acrylonitril Route* dapat dilihat pada Gambar 1.3



Gambar 1.3 Flow diagram Proses Acrylonitril Route

Sumber : (Chauvel & Lefebvre, 1989)

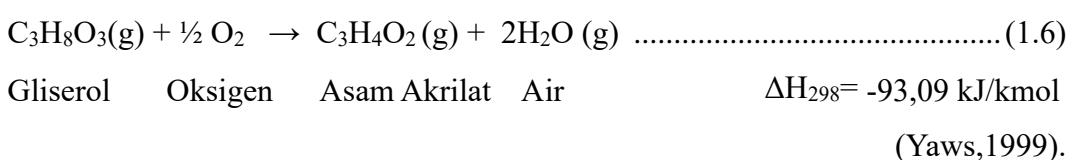
1.7.3 Proses Dehidrasi Oksidasi

Sama seperti proses sebelumnya, hasil antara pada proses ini berupa akrolein. Namun bahan baku yang digunakan berasal dari gliserol. Untuk membentuk akrolein dari gliserol, perlu adanya proses dehidrasi. Dehidrasi gliserol lebih dipilih pada fase gas karena yield yang diperoleh lebih besar daripada fase cair (US Patent, 2008).

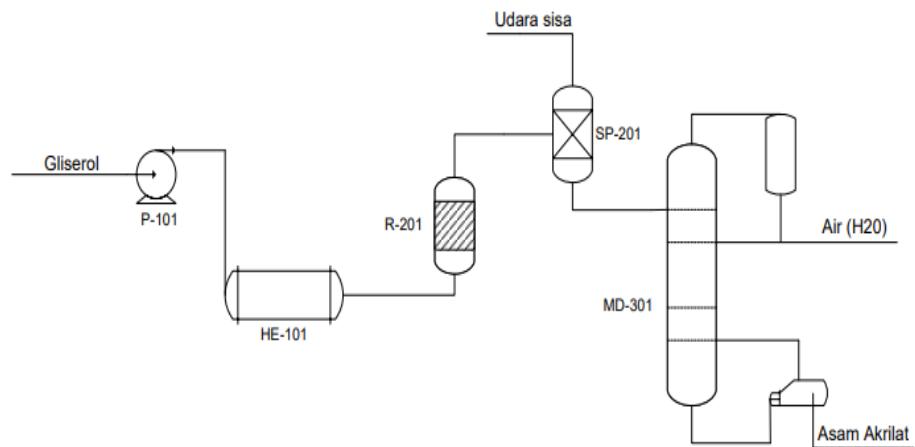
Diketahui bahwa gliserol dapat terdehidarsi dengan keberadaan senyawa yang bersifat asam. Menurut *Organic Synthesis I* (1964), reaktor dengan katalis potassium hydrogen sulphate dan potassium sulphate pada suhu 190- 200° C di dapatkan yield akrolein 48%. Proses tersebut terjadi pada fase cair. Kelemahan dari proses ini adalah yield yang didapatkan kecil sehingga proses ini tidak cocok jika diterapkan pada skala industri. Pembuatan asam akrilat pada fase gas, uap gliserol dilewatkan menggunakan reaktor jenis fixed bed catalyst pada suhu 300° C. Katalis yang digunakan adalah garam yang terdiri atas 3 gugus asam untuk membentuk garam asam fosfor. Yield akrolein yang didapatkan sebesar 75%. Pada proses oksidasi akrolein menjadi asam akrilat menggunakan katalis *molibdenum-vanadium oxide*. (US Patent 814843, 2008).

Pembentukan asam akrilat ($C_3H_4O_2$) dari gliserol ($C_3H_8O_3$) terjadi dalam 2 tahap. Pertama, tahap dehidrasi gliserol menjadi akrolein dan kedua tahap oksidasi akrolein ke asam akrilat.

Reaksi yang terjadi adalah :



Flow diagram produksi asam akrilat dengan Proses *Dehydration-Oxidation* dapat dilihat pada Gambar 1.4



Gambar 1.4 Flowsheet Proses Dehydration-Oxidation

1.7.4 Perbandingan Proses

Adapun beberapa hal yang dipertimbangkan mendasari pemilihan proses dehidrasi oksidasi yang digunakan dan juga alasan mengapa memilih proses tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.5

Tabel 1.5 Perbandingan Proses Pembuatan Asam Akrilat

| Parameter | <i>Catalytic - Oxydation</i> | <i>Acrylonitrile route</i> | <i>Dehydration-Oxidation</i> |
|-----------------|---|--|---|
| Bahan Baku | C ₃ H ₆ dan O ₂ | C ₃ H ₃ N dan H ₂ SO ₄ | C ₃ H ₈ O ₃ dan O ₂ |
| Katalis | Bismut Molibdat | - | <i>Molybdenum Oxide</i> |
| Produk samping | C ₃ H ₄ O, H ₂ O | NH ₄ HSO ₄ | H ₂ O |
| Kondisi Operasi | Tekanan : 1-2 atm Temperatur : 400-500°C | Tekanan : 1-2 atm Temperatur : 80-100°C | Tekanan : 3 atm Temperatur : 200-300°C |
| Konversi | 58% | <58% | 75-80% |
| Jenis Reaktor | <i>Plug Flow Reactor</i> | CSTR | <i>Plug Flow Reactor</i> |
| Kelebihan | Bahan Baku ini harganya murah | Tidak memerlukan suhu | Bahan baku murah, mudah didapatkan, dapat diperbarui, |

| | | | |
|------------|---|--|---|
| | dan Katalis mudah didapatkan | tinggi dan tekanan yang tinggi | dan ramah lingkungan. |
| Kekurangan | Umur katalis pendek dan Bahan Baku tidak terbarukan | Bahan Baku ini harganya mahal dan tidak mudah didapatkan | Sifat gliserol yang larut dalam air akan mempersulit tahapan reaksi |

(Sumber: Chauvel & Lefebvre, 1989 : Ullman's, 2003)

Berdasarkan pertimbangan di atas maka dipilih proses produksi asam akrilat menggunakan dehidrasi oksidasi dikarenakan:

1. Bahan baku berupa gliserol yang mudah didapatkan dan lebih ekonomis dibandingkan dan ramah lingkungan dengan bahan kimia lainnya seperti propilen dan akrilonitril)
2. Alur proses dan peralatan yang digunakan cukup sederhana
3. Produk samping yang bermanfaat atau tidak bereaksi dengan lingkungan

1.8 Uraian Proses

Proses pembuatan asam akrilat dengan mereaksikan gliserol secara umum terdapat beberapa tahapan, yaitu :

1. Tahap persiapan bahan baku
2. Tahap reaksi
3. Tahap pemurnian hasil

1. Tahap Persiapan Bahan Baku

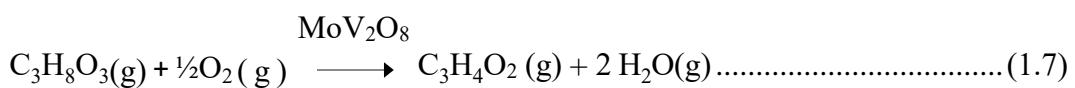
Ketersedian bahan baku gliserol didapat dari PT. Cissade Raya Chemical dengan kemurnian 99,5% dan bahan baku oksigen didapat dari alam. Gliserol pada kondisi 30°C dengan tekanan 1 atm dialirkan dari pipa menuju ke pompa I (P-101) untuk menaikkan tekanan dari 1 atm menjadi 3 atm. Setelah tekanan naik gliserol kemudian dialirkan ke *Heat Exchanger* (HE-101) untuk menaikkan suhu dari 30°C menjadi 160°C. Kemudian keluaran *Heat Exchanger* (HE-101) dialirkan ke *Heater* II (H-102) untuk menaikkan suhu lagi menjadi 300°C.

Setelah suhu gliserol menjadi 300°C dan tekanan 3 atm maka gliserol dialirkan ke reaktor (PFR-201) bersamaan dengan oksigen. Oksigen pada kondisi 30°C dengan tekanan 1 atm dialirkan ke kompresor (K-101) untuk menaikkan

tekanan dari 1 atm menjadi 3 atm. Selama proses di (K-101) udara juga mengalami kenaikan suhu menjadi $174,9^{\circ}\text{C}$. Setelah tekanan naik dialirkan ke *Heater I* (H-101) untuk menaikkan suhu dari $174,9^{\circ}\text{C}$ menjadi 300°C . Setelah suhu dan tekanan sesuai dengan kondisi operasi, udara dan gliserol kemudian dialirkan secara bersamaan menuju reaktor (PFR-201).

2. Tahap Reaksi

Pada tahap pembentukan asam akrilat, gliserol dan oksigen dialirkan ke reaktor tipe *fixed bed multitube* dengan menambahkan katalis palladium klorida . Reaksi dalam reaktor adalah sebagai berikut.



Bahan baku yang masuk ke dalam reaktor beraksi dengan bantuan katalis *Molybdenum Oxide* padat sehingga menghasilkan keluaran yang terdiri dari beberapa komponen. Komponen-komponen tersebut adalah gliserol, oksigen, air, akrolein dan asam akrilat dengan kondisi 300°C dan tekanan 3 atm dengan fase gas. Dan didapat hasil produk utama berupa asam akrilat dengan konversi maksimal 75%. Kemudian hasil dari keluaran reaktor dengan suhu 320°C dialirkan menuju *condenser* (CD-101) dengan melewati *Heat Exchanger* untuk menurunkan suhu dari 212,8°C menjadi 40°C dan mengubah fasa produk asam akrilat dari gas menjadi cair.

3. Tahap Pemurnian Hasil

Kemudian keluaran dari *Condenser* (CD-101) dengan suhu 40 °C yang berupa asam akrilat, air dan campuran sisa bahan baku kemudian dialirkan menuju separator (SP-101) dengan kondisi 2 atm dan suhu 38,28°C yaitu untuk memisahkan fase gas (sisa oksigen, nitrogen) dengan fase cair (air, gliserol , asam akrilat) agar proses pemurnian lebih efisien dan produk tidak hilang ke aliran gas buang. Pada proses pemisahan di separator ini produk berupa asam akrilat akan bercampur dengan gliserol dan air mengalir melalui bagian bawah separator sedangkan bahan dalam bentuk gas akan keluar melalui bagian atas separator seperti udara sisa (Oksigen, nitrogen) akan dibakar seperti *flare*. Keluaran bawah separator kemudian dialirkan menuju pompa II (P-302) untuk menaikkan tekanan

dari 2 atm ke 2,5 atm dan dinaikan suhunya menjadi 142,53°C menggunakan heater III (H-303) kemudian dialirkan menuju ke menara destilasi (MD-301) untuk dilakukan pemisahan pertama antara gliserol ,air dan asam akrilat.

Pada pemisahan pertama ini bertujuan untuk memisahkan antara asam akrilat dan air dengan bahan baku sisa gliserol berdasarkan perbedaan titik didih. Produk berupa asam akrilat dan air yang memiliki titik didih lebih rendah akan keluar melalui bagian atas distilasi (MD-301) akan dialirkan menuju pompa III (P-303) untuk dinaikan tekanan dari 2,5 atm menjadi 5 atm dan dinaikan suhunya menjadi 158,8°C menggunakan heater IV (H-304) kemudian dialirkan ke menara distilasi (MD-302) untuk pemisahan tahap akhir, sedangkan gliserol sisa keluar melalui bagian bawah distilasi (MD-301) yang akan direcycle (RCY-1) dialirkan ke Cooler (CO-302) untuk diturunkan suhunya dari 287,8°C menjadi 30°C kemudian ke pompa IV (P-304) untuk dialirkan dan dinaikkan tekanan dari 1 atm menjadi 3 atm kemudian dialirkan ke TEE 301 dan dialirkan ke mixer (MIX-101) untuk dilakukan pecampuran kembali dan masukkan kembali ke dalam reaktor PFR (PFR-201). Fungsi dari recyle (RCY-1) untuk meningkatkan konversi dan efisiensi proses. Pada pemisahan tahap akhir (MD-302) dengan kondisi operasi 5 atm dan suhu 158,8°C yang bertujuan untuk memisahkan berupa produk asam akrilat dengan air yang berdasarkan titik didihnya. Produk utama berupa asam akrilat akan keluar melalui bagian bawah distilasi (MD-302) kemudian air akan keluar melalui bagian atas distilasi (MD-302) yang dimana merupakan produk samping dari proses pemisahan akhir ini dan akan diproses lanjut ke dalam utilitas. Pada proses pemisahan ini menghasilkan produk asam akrilat dengan kemurnian sebesar 99,5%. Produk kemudian didinginkan di cooler (CO-303) dan dialirkan menuju tangki penyimpanan (T-402) yang siap digunakan.

1.9 Tinjauan Termodinamika

Termodinamika sangat penting untuk menganalisa sembarang sistem yang melibatkan perpindahan energi. Berbagai pemakaian thermodinamika yang praktis dan lazim dalam rekayasa adalah untuk menganalisa berbagai sistem yang mengandung suatu zat kerja, biasanya dalam fase cair atau gas, yang mengalir di

dalam peralatan. Berbagai sistem yang menjadi pusat perhatian disini adalah sistem-sistem yang menghasilkan suatu konversi energi (Hernandez dkk., 2021).

Tinjauan secara termodinamika ditunjukkan untuk menentukan sifat reaksi berjalan secara eksotermis atau endotermis dan arah reaksi (*reversible/irreversible*). Penentuan panas reaksi berjalan secara eksotermis atau endotermis dapat dihitung dengan perhitungan panas pembentukan (ΔH°_f) pada tekanan 3 atm dan suhu 25°C (298,15 °K). Ditinjau dari segi termodinamika reaksi pembentukan akrolein dan asam akrilat dengan nilai ΔH°_f masing-masing komponen pada suhu 300°C (573,15 °K) ditunjukkan pada Tabel 1.6.

Tabel 1.6 Nilai ΔH°_f masing-masing komponen pada suhu 300°C (573,15 °K)

| Komponen | Nilai ΔH°_f (kJ/mol) |
|-------------|-----------------------------------|
| $C_3H_8O_3$ | -541,851 |
| O_2 | 0,00 |
| $C_3H_4O_2$ | -343,416 |
| H_2O | -291,526 |

(Yaws, 1999)

Secara termodinamika reaksi dehidrasi oksidasi dapat dilihat dari harga entalpi pembentukan antara produk dan reaktan sebagai berikut



Gliserol Oksigen Asam Akrilat Air

$$\begin{aligned}
 \Delta H^\circ_f \text{ } 573,15 &= \Delta H^\circ_f \text{ produk} - \Delta H^\circ_f \text{ reaktan} \\
 &= (\Delta H^\circ_f \text{ C}_3\text{H}_4\text{O}_2 + \Delta H^\circ_f \text{ H}_2\text{O}) - (\Delta H^\circ_f \text{ C}_3\text{H}_8\text{O}_3 + (\Delta H^\circ_f \text{ O}_2)) \\
 &= (-343,416 \text{ kJ/kmol} + (-291,526 \text{ kJ/kmol})) - (-541,851 \text{ kJ/mol} + \\
 &\quad 0,00 \text{ kJ/kmol}) \\
 &= -93,0908 \text{ kJ/kmol}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka reaksi yang terjadi pada reaksi pembentukan asam akrilat dan air dari dehidrasi oksidasi merupakan reaksi eksotermis dikarenakan nilai entalpi reaksi bernilai negatif sehingga reaksi melepas panas.

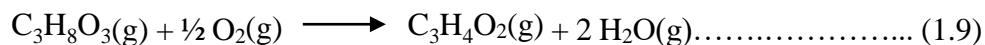
Sifat reaksi kimia yang bersifat *reversible* dan *irreversible* dapat di ketahui dari harga konstanta kesetimbangan. Data energi bebas Gibbs pada 573,15 K dapat di lihat pada Tabel 1.7.

Tabel 1.7 Nilai $\Delta G^{\circ f}$ masing-masing komponen pada suhu 300°C (573,15 °K).

| Komponen | Nilai $\Delta G^{\circ f}$ (kJ/mol) |
|-------------|-------------------------------------|
| $C_3H_8O_3$ | -584,906 |
| O_2 | 0,00 |
| $C_3H_4O_2$ | -337,271 |
| H_2O | -241,740 |

(Yaws, 1999)

Secara termodinamika reaksi dehidrasi oksidasi dapat dilihat dari energi bebas *Gibbs* sebagai berikut:



$$\begin{aligned}
 \Delta G^{\circ f}_{573,15} &= \Delta G^{\circ f} \text{ produk} - \Delta G^{\circ f} \text{ reaktan} \\
 &= (\Delta G^{\circ f} C_3H_4O_2 + \Delta G^{\circ f} H_2O) - (\Delta G^{\circ f} C_3H_8O_3 + \Delta G^{\circ f} O_2) \\
 &= (-337,271 \text{ kJ/kmol} + (-241,740 \text{ kJ/kmol}) - (-584,906 \text{ kJ/kmol} + \\
 &\quad 0,00 \text{ kJ/kmol}) \\
 &= -133,6974 \text{ kJ/kmol}
 \end{aligned}$$

Reaksi dehidrasi oksidasi menghasilkan asam akrilat dan air bersifat spontan membentuk reaksi pada suhu 573,15 K, karena $\Delta G_{\text{reaksi}} < 0$ (Levine, 2020). Adapun penentuan nilai konstanta kesetimbangan reaksi pada suhu 573,15 K menggunakan persamaan Smith Van Ness (Smith dkk, 2018) sebagai berikut:

$$\Delta G^{\circ f}_{573,15} = -RT \ln K_{298,15}$$

$$\ln K_{298,15} = \frac{\Delta G_{573,15}}{RT}$$

$$K_{298,15} = \exp \frac{\Delta G_{573,15}}{RT}$$

$$K_{298,15} = \exp \frac{-133,6974}{0,008314 \times 298,15}$$

$$K_{298,15} = 2,6551 \times 10^{23}$$

$$\ln \frac{K_{298,15}}{K_{573,15}} = \left[\frac{-\Delta H \text{ 573,15}}{R} \right] \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right]$$

$$\frac{K_{298,15}}{K_{573,15}} = \exp \left[\frac{-\Delta H \text{ 573,15}}{R} \right] \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right]$$

$$K_{573,15} = K_{298,15} \exp \left[\frac{-\Delta H \text{ 573,15}}{R} \right] \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right]$$

$$K_{573,15} = 2,6551 \times 10^{23} \left[\frac{-93,0907}{0,008314} \right] \left[\frac{1}{573,15} - \frac{1}{298,15} \right]$$

$$K_{573,15} = 3,9684 \times 10^{15}$$

Berdasarkan nilai K yang didapat untuk reaksi lebih dari satu, maka reaksi mengarah pada pembentukan produk asam akrilat bersifat secara searah atau *irreversible* (Levenspiel, 1999).

1.10 Pemilihan Lokasi Pabrik

Penentuan lokasi berdirinya suatu pabrik merupakan salah satu aspek penting yang harus diperhatikan dalam merancang pabrik. Secara geografis, penentuan lokasi pabrik sangat menentukan kemajuan serta kelangsungan dari suatu industri kini dan pada masa yang akan datang dikarenakan berpengaruh terhadap faktor produksi dan distribusi dari pabrik yang didirikan. Pemilihan lokasi pabrik harus tepat berdasarkan perhitungan biaya produksi dan distribusi yang seminimal mungkin serta pertimbangan sosiologi dan budaya masyarakat di sekitar lokasi pabrik. Dalam perancangan pabrik asam akrilat dari gliserol dengan kapasitas 120.000 ton/tahun ini direncanakan akan didirikan di Jl. Imam Bonjol, Kawasan Industri Tangerang No.88, Bojong Jaya, Kec. Karawaci, Kota Tangerang, Banten 15115. Dengan lokasi pendirian pabrik tersebut dapat dilihat dari Gambar 1.5 dan 1.6.



Gambar 1.5 Peta Lokasi Pabrik (Google Maps, 2025)



Gambar 1.6 Peta Kota Tangerang, Banten (Google Maps, 2025)

Faktor – faktor yang menjadi dasar pertimbangan dalam menentukan lokasi pabrik adalah sebagai berikut:

1.10.1 Persediaan Bahan Baku

Lokasi pabrik sebaiknya dekat dengan penyediaan bahan baku dan pemasaran produk untuk menghemat biaya transportasi. Bahan baku pabrik asam akrilat yang didirikan ini seperti gliserol yang akan diperoleh dari PT. Cisadane Raya Chemical, serta air diperoleh dari air sungai yang telah diproses lokasinya tidak jauh dari pabrik.

1.10.2 Pemasaran Produk

Pemasaran merupakan salah satu hal yang sangat mempengaruhi studi kelayakan proses. Dengan pemasaran yang tepat akan menghasilkan keuntungan dan menjamin kelangsungan proyek, asam akrilat yang dihasilkan, dan dapat dipasarkan untuk bahan baku beberapa industri, seperti PT. Indah Kiat Pulp & Paper, PT. Pindo Deli Pulp and Paper Mill, PT. Sarana Karya Sahabat, PT Aneka Mitra Gemilang, PT. Sinergi Adi Mitra Jaya dan PT. Anugrah Trimulia Tekstil yang menggunakan asam akrilat sebagai bahan bakunya.

1.10.3 Penyediaan Utilitas

Utilitas yang diperlukan adalah pembangkit listrik, unit penyediaan bahan bakar, unit pembangkit *steam*, unit pengadaan dan pengolahan air, unit pengadaan *dowtherm*. Kebutuhan listrik diperoleh dari PLTU Lontar, Tangerang dan PT. PLN.

1.10.4 Transportasi

Sarana transportasi di kawasan industri Tangerang, Banten ini dapat dibilang sangat memadai karena memiliki berbagai jalur lalu lintas darat serta ketersediaan jalur untuk sarana transortasi yang cukup besar untuk menyuplai bahan baku atau mengirimkan produk dalam jumlah banyak. Daerah ini juga dekat dengan pelabuhan bertaraf internasional, yaitu Pelabuhan Pakuhaji yang nantinya akan digunakan sebagai tempat mengirimkan produk ke dalam ataupun luar negeri.

1.10.5 Tenaga Kerja

Sumber daya manusia sebagai sumber tenaga kerja yang ada di sekitar lingkungan atau kawasan pabrik merupakan hal yang penting yang harus diperhatikan. Keberadaan sumber daya manusia di kawasan tersebut diharapkan cukup banyak serta berkualitas tinggi, agar dapat mengoperasikan proses didalam atau diluar pabrik secara optimal. Berdasarkan data yang dirilis oleh Badan Pusat

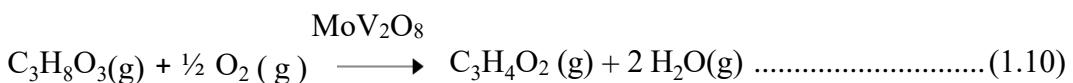
Statistik (BPS) Banten, tingkat pengangguran terbuka (TPT) di Banten per Agustus mencapai 10,64% atau sebanyak 661.000 orang. Angka tersebut meningkat 2,53% atau bertambah sebanyak 171.000 orang dibandingkan dengan Agustus 2019 (Redaksi, 2020). Dengan adanya pabrik berlokasi di Tangerang, Banten ini diharapkan tingkat pengangguran terbuka dapat menurun dengan adanya lapangan pekerjaan yang tersedia.

1.10.6 Faktor Penunjang Lain

Tangerang merupakan daerah kawasan industri yang telah ditetapkan oleh pemerintah, sehingga faktor-faktor seperti: tersedianya energi listrik, bahan bakar, sumber air, iklim dan karakter tempat/lingkungan bukan merupakan suatu kendala karena semua telah dipertimbangkan pada penetapan kawasan tersebut sebagai kawasan industri. Dengan pertimbangan diatas maka dapat disimpulkan bahwa kawasan Bontang layak dijadikan lokasi pendirian pabrik asam akrilat ini.

1.11 Uji Ekonomi Awal

Kapasitas pabrik merupakan faktor yang sangat penting dalam pendirian pabrik karena akan mempengaruhi perhitungan teknik dan ekonomi. Meskipun secara teori semakin besar kapasitas pabrik kemungkinan keuntungan yang diperoleh akan semakin besar, tetapi dalam penentuan kapasitas perlu juga dipertimbangkan faktor lain. yaitu seperti diperlihatkan pada Tabel 1.8



Tabel 1.8 Bahan Baku

| Bahan dasar | Berat molekul (g) | Harga Rp/kg |
|---|-------------------|-------------|
| Gliserol ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$) | 92,09 | 2.000 |
| Oksigen | 32 | 0 |
| Air (H_2O) | 18,02 | 0 |
| Asam Akrilat ($\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2$) | 72,06 | 33.600 |

(Sumber: Independent Commodity Intelligence Services, ICIS. 2012)

Bahan baku:

$$\begin{aligned} \text{Gliserol } (\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3) &= 1 \text{ mol} \\ &= 1 \text{ mol} \times 92,09 \text{ g/mol} \\ &= 92,09 \text{ g} \\ &= 0,09209 \text{ kg} \\ &= 0,09209 \text{ kg} \times \text{Rp. 2.000} \\ &= \text{Rp. 184,18} \end{aligned}$$

$$\text{Oksigen} = 1/2 \text{ mol}$$

| | |
|--|-----------------------|
| | = 1/2 mol x 32 g/mol |
| | = 38,04 g |
| | = 0.03804 kg |
| | = 0.03804 kg x Rp. 0 |
| | = Rp. 0 |
| Produk Samping: Air (H ₂ O) | = 2 mol |
| | = 2 mol x 18.02 g/mol |
| | = 36,04 g |
| | = 0.03604 kg |
| | = 0.03604 kg x Rp. 0 |
| | = Rp. 0 |

Konversi Produk:

| | |
|--|---|
| Asam Akrilat (C ₃ H ₄ O ₂) | = 1 mol |
| | = 1 mol x 72,06 gr/mol |
| | = 72,06 gr |
| | = 0,07206 kg |
| | = 0,07206 kg x Rp. 33.600 |
| | = Rp. 2.421,22 |
| Analisa Ekonomi | = Harga Produk – Harga Bahan Baku |
| | = Rp. 2.421,22 – Rp. 184,18 |
| | = Rp. 1.958,04 |
| Net Profit Margin | = $\frac{\text{Analisa Ekonomi}}{\text{Bahan Baku}} \times 100\%$ |
| | = $\frac{1.958,04}{184,18} \times 100\%$ |
| | = 1.063 % |

Dari uji ekonomi awal yang telah dibuat, terlihat bahwa harga beli bahan baku lebih murah dibandingkan dengan harga jual produk yaitu sebesar 1.063 %. Maka dari itu, uji ekonomi awal dapat disimpulkan bahwa pabrik asam akrilat ini layak untuk didirikan.