

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik

Indonesia merupakan salah satu negara dengan penduduk terbanyak dan juga perkembangan industri yang semakin meningkat setiap tahunnya. Dengan meningkatnya perkembangan industri diharapkan dapat meningkatkan kesejahteraan masyarakat Indonesia. Kebutuhan konsumen yang beraneka ragam dan *modern* membuat kita dituntut untuk berinovasi di bidang industri khususnya industri plastik atau *polymer* yang merupakan sektor industri yang sangat berpengaruh dalam mendukung perkembangan industri yang lain.

Plastik atau *polymer* digunakan untuk bahan baku pipa plastik, alat rumah tangga, alat medis, mainan anak, kemasan untuk makanan, dan lain-lain. Kebutuhan plastik atau *polymer* yang tinggi akan mengakibatkan peningkatan bahan baku plastik atau *polymer* pada industri plastik misalnya industri *Polyester*, *Polyamide*, *Polycarbonate*, dan *Polyuretane* disintesis melalui reaksi polimerisasi kondensasi.

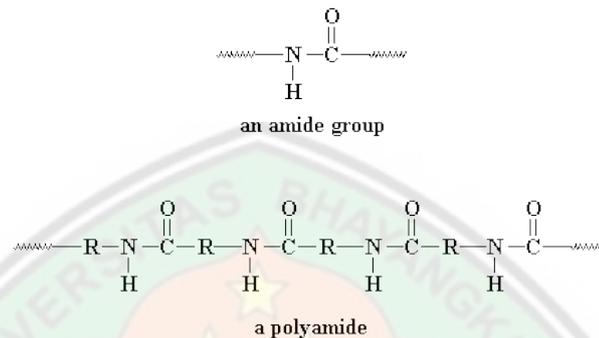
Industri yang sedang berkembang di Indonesia yaitu industri *Polyamide* yang merupakan *polymer* yang terdiri dari monomer amida yang bergabung dengan ikatan peptida. *Polyamide* dapat terbentuk secara alami ataupun buatan. Salah satu bentuk *Polyamide* alami yaitu protein, seperti wol dan sutera. *Polyamide* dapat dibuat secara artifisial melalui polimerisasi atau sintesis (fase padat). Contoh *Polyamide* buatan diantaranya nilon, aramid dan sodium poly(aspartat). *Polyamide* biasanya digunakan dalam industri tekstil, otomotif, karpet dan pakaian olahraga karena memiliki sifat kuat dan daya tahan yang ekstrim. Industri manufaktur transportasi adalah konsumen utama, akuntansi untuk 35% dari konsumsi *Polyamide* (PA).

Maka dari itu Indonesia membutuhkan orang-orang yang dapat berfikir inovatif dan memahami teknologi baik yang canggih maupun yang sederhana agar

dapat meningkatkan eksistensi dan kredibilitasnya agar tidak kalah dengan negara yang telah maju di bidang teknologi maupun industri.

Prarancangan pabrik *Polyamide* saat ini menjadi hal yang penting karena banyak kebutuhan masyarakat yang menggunakan produk yang berbahan baku *Polyamide* untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari.

Polyamide memiliki rumus struktur sebagai berikut :



Berdasarkan pertimbangan dan kebutuhan yang terus meningkat didalam negeri dan *impor* yang tinggi, maka prarancangan pabrik *Polyamide* ini berpotensi untuk didirikan di Indonesia. Rencana pabrik ini akan dibuat pada tahun 2025 yang proses pembangunannya dan kebutuhan air dan pemasangan instalasi listrik diperkirakan memakan waktu 5 tahun.

1.2 Maksud dan Tujuan

1.2.1 Maksud

Prarancangan ini dimaksudkan sebagai konsep penerapan fungsi ilmu Teknik Kimia yang telah didapat selama proses belajar. Maksud lain dari prarancangan ini yaitu untuk memenuhi kebutuhan *Polyamide* di Indonesia dan dunia, karena produk ini banyak digunakan untuk industri tekstil dan industri manufaktur transportasi karena memiliki sifat kuat dan daya tahan yang ekstrim.

1.2.2 Tujuan

Prarancangan pabrik pembuatan *Polyamide* ini bertujuan untuk menerapkan ilmu Teknik Kimia yang diperoleh selama pembelajaran. Tujuan lain dari prarancangan pabrik pembuatan *Polyamide* ini adalah untuk memenuhi kebutuhan *Polyamide* dalam negeri, meningkatkan jumlah ekspor *Polyamide*, dan untuk memenuhi kebutuhan industri yang menggunakan *Polyamide* sebagai bahan baku. Selain itu, diharapkan dengan berdirinya pabrik ini akan memberi lapangan pekerjaan baru bagi masyarakat dan peningkatan produktivitas masyarakat sehingga dapat mengurangi angka pengangguran dalam negeri.

1.3 Analisa Pasar

Analisa pasar dalam membangun suatu pabrik sangat diperlukan untuk memenuhi permintaan atau kebutuhan pasar. Hal-hal yang melatar belakangi pemilihan kapasitas produksi yaitu sebagai berikut :

1. Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan untuk memproduksi *Polyamide* adalah Asam Adipat dan Heksa Metilena Diamina. Asam Adipat yang digunakan sebagai bahan baku akan di impor dari PT. Haihang Industry China karena di Indonesia tidak ada pabrik yang memproduksi Asam Adipat, sedangkan untuk Heksa Metilena Diamina disuplai dari PT. Musafa Specialties Indonesia. Menurut (Khairuzzaman, 2554) Proses pembuatan *Polyamide* untuk kapasitas 70.000 ton/tahun dibutuhkan bahan asam adipat sebanyak 5711,3198 kg/jam dan heksametilendiamina sebanyak 4537,761 kg/jam.

Pabrik Asam Adipat belum pernah didirikan di Indonesia, sedangkan untuk di luar negeri terdapat beberapa negara yang sudah mengoperasikan pabrik Asam Adipat secara komersial dengan kapasitas pabrik seperti terlihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 1.1. Data Kapasitas Asam Adipat Secara Global

| Perusahaan | Lokasi | Kapasitas (Ton/Tahun) |
|---------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Shandong Haili Chemical | Jiangsu, China | 300.000 |
| China Henan Shenma | Henan, China | 250.000 |
| Shandong Haili Chemical | Shandong, China | 225.000 |
| Chongqing Huaфон | Chongqing, China | 160.000 |
| Shandong Hualu | Shandong, China | 160.000 |
| Shandong Hongye Chemical | Shandong, China | 140.000 |
| Liaoyang Petchem | Liaoning, China | 140.000 |
| Rhodia Polyamide | Kyungsangnam, South Korea | 140.000 |
| Asahi Kasei | Miyazaki Pref, Japan | 120.000 |
| Dushanzi Tianli High Technology | Xinjiang, China | 75.000 |
| Shanxi Yangmei Fengxi | Shanxi, China | 70.000 |
| Sumitomo Chemical | Ehime Pref, Japan | 5.000 |

Sumber : ICIS Chemical Business, 2013

2. Kebutuhan Produk

Data statistik menyebutkan, kebutuhan *Polyamide* di Indonesia mengalami kenaikan. Produksi *Polyamide* di Indonesia belum mencukupi kebutuhan didalam negeri yang mengakibatkan *Polyamide* harus di impor dari luar negeri.

Tabel 1.2. Peningkatan Impor dan Ekspor Polyamide Indonesia

| Tahun | Ton/Tahun (Data Impor) | %P |
|---------------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| 2015 | 77,051,766.00 | 11.19334 |
| 2016 | 85,676,429.00 | 3.838612 |
| 2017 | 88,965,215.00 | 10.89705 |
| 2018 | 98,659,800.00 | -12.2045 |
| 2019 | 86,618,829.00 | - |
| Total | 436,972,039.00 | 13.72446 |
| Rata-rata impor tiap tahun (i) | | 3.431116 |

| Tahun | Ton/Tahun (Data Ekspor) | %P |
|--|--------------------------------|--------------------|
| 2015 | 6,856,140.50 | 8.557605551 |
| 2016 | 7,442,861.96 | 35.12083825 |
| 2017 | 10,056,857.47 | 16.90586284 |
| 2018 | 11,757,056 | 24.78779007 |
| 2019 | 14,671,370 | - |
| Total | 50,784,286.29 | 85.37209671 |
| Rata-rata ekspor tiap tahun (i) | | 21.34302418 |

Sumber : Biro Pusat Statistik 2015-2019

1.3.1 Kapasitas Produksi

Kapasitas produksi adalah suatu tingkat yang menyatakan batas kemampuan, penerimaan, penyimpanan atau keluaran dari suatu unit, fasilitas atau *output* untuk memproduksi dalam suatu periode waktu tertentu. Kapasitas produksi menentukan persyaratan modal sehingga mempengaruhi sebagian besar

dari biaya. Kapasitas produksi menentukan berapa jumlah permintaan yang harus dipenuhi dengan menggunakan fasilitas produksi yang ada.

Di Indonesia sudah ada beberapa industri yang memproduksi *Polyamide*, diantaranya:

Tabel 1.3. Perusahaan yang memproduksi *Polyamide* di Indonesia

| Perusahaan | Kebutuhan (Ton/Tahun) |
|--------------------------------|------------------------------|
| Pt. Indokordsa Tbk | 21.000 ton/tahun |
| Pt. Polychem Indonesia Tbk | 19.703 ton/tahun |
| Pt. Indonesia Toray Synthetics | 71.640 ton/tahun |

Dengan metode Least Square (Perry, 3-84), dapat dilakukan penaksiran index harga rata-rata pada akhir tahun 2025. Penyelesaian dengan Least Square menghasilkan persamaan:

$$y = a + b (x - X)$$

Keterangan :

a = y = harga rata-rata

$$b = \frac{\sum(x-X)(y-y)}{\sum(x-x)^2}$$

Tabel 1.4. Penaksiran indeks harga dengan Least Square

| Tahun (x) | X | Impor (y) | x ² | y ² | XY |
|-----------|----|-----------|----------------|----------------|----------|
| 2015 | 1 | 77051.77 | 1 | 5936974644 | 77051.77 |
| 2016 | 2 | 85676.43 | 4 | 7340450486 | 171352.9 |
| 2017 | 3 | 88965.22 | 9 | 7914809480 | 266895.6 |
| 2018 | 4 | 98659.8 | 16 | 9733756136 | 394639.2 |
| 2019 | 5 | 86618.83 | 25 | 750284537 | 433094.1 |
| Total | 15 | 436972.1 | 55 | 31676275283 | 1343034 |

$$n = 5$$

dimana $a = \bar{y}$ dan $y = a + b(x - \bar{x})$

$$b = \frac{\sum(\hat{x} - x)(\hat{y} - y)}{\sum(x - \bar{x})^2}$$

$$\sum(\hat{x} - x)(\hat{y} - y) = \sum xy - \frac{\sum x \cdot \sum y}{n}$$

$$\sum(\hat{x} - x)^2 = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}$$

$$\hat{x} = 15 / 3 = 5 \quad a = \bar{y} = 87394.4$$

$$\bar{y} = 436972 / 5 = 87394.4$$

$$b = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \cdot \sum y}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}$$

$$b = 1343034 - \frac{(15 \times 436972)}{5} \div \left(55 - \frac{(15)^2}{5} \right)$$

$$B = 3211.8$$

Sehingga persamaan regresi :

$$Y = a + b(x - \bar{x})$$

$$\begin{aligned}
&= 87394.4 + 3211.8 (x-3) \\
&= 87394.4 + 3211.8x - 9635.4 \\
&= 3211.8x + 77759
\end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan diatas maka proyeksi 2025 sebesar :

$$\begin{aligned}
X &= 11 \\
Y &= 3211.8x + 77759 \\
&= 3211.8 (11) + 77759 \\
&= 113088.8
\end{aligned}$$

Maka peluang kapasitas *Polyamide* di Indonesia pada tahun 2025 diperkirakan sebesar :

$$\begin{aligned}
P_{2025} &= y - \text{Kapasitas produksi dalam negeri} \\
&= 113088.8 - 69700 \\
&= 43308.8 \text{ ton/tahun} \\
&= 30000 \text{ ton/tahun}
\end{aligned}$$

Dengan kapasitas tersebut direncanakan pada tahun 2025 kapasitas prarancangan pabrik *Polyamide* yang akan didirikan adalah 30.000 ton/tahun dengan pertimbangan kapasitas perhitungan sebesar 43308.8 ton/tahun.

1.4 Penentuan Lokasi Pabrik

Dalam proses produksi *Polyamide*, lokasi pendirian pabrik sangat bergantung dengan keberadaan bahan baku dan sarana transportasi. Adapun faktor-faktor yang mendukung untuk mempertimbangkan lokasi pabrik, antara lain :

1. Ketersediaan Bahan Baku

Sumber bahan baku merupakan salah satu faktor terpenting yang mempengaruhi pemilihan lokasi pabrik. Sumber bahan baku yang dekat dengan lokasi pabrik dapat mengurangi biaya

transportasi dan penyimpanan yang cukup besar. Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam menentukan ketersediaan bahan baku antara lain harga bahan baku yang digunakan, jarak dari sumber bahan baku, kemurnian bahan baku, dan persyaratan penyimpanan. Untuk mengurangi biaya penyediaan bahan baku dipilihlah lokasi pabrik berdekatan dengan pabrik yang memproduksi bahan baku.

2. Transportasi

Transportasi dapat mempengaruhi kelancaran produksi suatu pabrik, karena dalam pengiriman produk maupun penyediaan bahan baku sangat bergantung pada transportasi, transportasi dalam suatu industri dapat mempermudah dan melancarkan dalam proses pengiriman. Oleh sebab itu maka pabrik *Polyamide* ini didirikan dengan beberapa pertimbangan antara lain Transportasi yang tersedia, dekat dengan pelabuhan, bahan baku dan pasar.

3. Pemasaran Produk

Letak kawasan yang strategis sangat memudahkan untuk komoditi ekspor maupun pengiriman ke pabrik-pabrik di Indonesia yang membutuhkan *Polyamide*.

4. Tenaga Kerja

Kawasan ini merupakan salah satu kawasan yang sedang berkembang pesat, sehingga tidak ada kesulitan untuk mendapatkan tenaga kerja. Tenaga kerja ahli dan berkualitas dapat diambil dari lulusan Universitas/Institut di seluruh Indonesia, untuk tenaga kerja non ahli (operator) dapat mengambil dari daerah sekitar.

5. Lingkungan

Lokasi pabrik dipilih pada daerah khusus untuk kawasan Industri sehingga akan memudahkan dalam perijinan pendirian pabrik.

6. Ketersediaan Lahan

Faktor ini berkaitan dengan rencana pengembangan pabrik kedepannya.

7. Tata Letak Pabrik

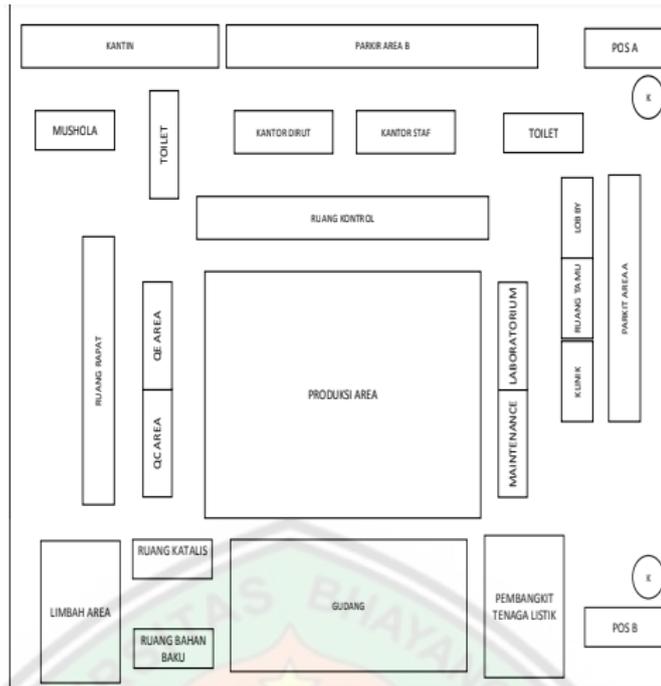
Lokasi pabrik berada di daerah Kawasan Industri Krakatau Estate Cilegon. Alasan pemilihan lokasi ini adalah karena pabrik dekat dengan bahan baku.



Sumber : googlemaps.com

Gambar 1.1. Lokasi Pendirian Pabrik

Pemilihan lokasi merupakan sarana penting dalam prarancangan pabrik kimia. Banyak faktor yang mempengaruhi lokasi pabrik sebelum pabrik didirikan dan harus dilakukan beberapa pertimbangan. Lokasi pabrik *Polyamide* akan didirikan di daerah Serang, Banten karena dekat dengan pelabuhan untuk proses distribusi produk.



Gambar 1.2. Tata Letak Pabrik

1.4.1 Kebutuhan Produk

Berikut ini keuntungan dari didirikannya pabrik Polyamide diantaranya :

1. Membantu memenuhi kebutuhan Polyamide di Indonesia.
2. Menambah pendapatan Negara.
3. Membuka lapangan kerja baru dan pengurangi pengangguran.
4. Membuka peluang bagi pengembang industri-industri dengan bahan baku Polyamide sehingga tercipta produk yang mempunyai nilai ekonomis yang lebih tinggi.

1.4.2 Kegunaan Produk

Menurut (Mujiarto, 2005) Polyamide mempunyai penggunaan yaitu:

1. Industri listrik dan elektronika.
2. Mobil (pelampung tangka bahan baker, blok bantalan, komponen motor, speedometer, gear, pengisi udara karburator, kerangka kaca,

- penutup tangga bahan baker, reflector lampu depan, penutup stir, dop roda mobil).
3. Tekstil (bobbin atau gelondong benang, perkakas tenun, ring yang dapat dipindah-pindah).
 4. Peralatan rumah tangga (folding door, peralatan dapur, furniture)
 5. Mesin-mesin industri (gear, bearing, pulley, impeller pompa motor, sprocket, rol, tabung, alat pengukur pada pompa bensin).
 6. Kemasan untuk mengemas makanan seperti ikan, daging, saus, keju, coklat, kopi, dan lain-lain.

1.5 Pemilihan Proses

1.5.1 Proses Pembuatan Polyamide

Polyamide sering juga disebut sebagai nilon, adalah *Polymer* tinggi yang mengandung ikatan ulangan amida pada tulang punggung *Polymer*. *Polymer* ini umumnya dicirikan sebagai *Polymer* yang tangguh, tembus cahaya, dan semikristalin dengan biaya yang cukup rendah dan mudah dimanipulasi secara komersial dengan pemrosesan leleh.

Polyamide adalah bahan yang keras, putih tembus cahaya, semikristalin, dan leleh tinggi ($T_m \approx 265^\circ\text{C}$). *Polyamide* didefinisikan oleh Komisi Perdagangan Federal A.S. sebagai *Polyamide* yang memiliki kurang dari 85% kelompok amida yang terhubung langsung ke dua kelompok aromatik. Definisi ini khusus untuk serat, tetapi dengan mudah diperluas.

1. Proses Batch atau Autoclave

Garam nilon-6,6, *Hexamethylenediammonium Adipate*, dibuat dengan menambahkan Asam Adipat ke larutan *Hexamethylenediamine* dalam air. Diamina biasanya disimpan pada konsentrasi sekitar 85% dalam air untuk menjaganya tetap dalam keadaan cair untuk kemudahan penanganan dan diselimuti dengan gas inert, untuk mencegah oksidasi dan pembentukan warna.

Namun, langkah proses ini dapat menyebabkan komplikasi seperti perubahan warna akibat oksidasi yang dibawa dari atmosfer melalui kebocoran vakum, degradasi dari waktu yang lebih lama pada suhu tinggi, dan kesulitan dalam mengalirkan massa *Polymer* dari bejana karena viskositas yang lebih tinggi dicapai.

Keuntungan dari proses *autoclave* adalah investasi modal yang relatif rendah, fleksibilitas, dan pengoperasian yang relatif sederhana. Kerugiannya adalah hasil yang rendah, biaya tenaga kerja yang tinggi, variasi sifat polimer melalui batch dan dari batch ke batch, dan kesulitan dalam memperoleh polimer dengan berat molekul tinggi (Castellan et al., 1991).

2. Proses Polimerisasi Kontinu atau Berkelanjutan

Proses polimerisasi kontinu diciptakan untuk memecahkan batasan yang melekat dalam proses batch. Proses ini menggunakan beberapa bejana tempat bahan polimerik mengalir sementara ia tumbuh dalam berat molekul.

Keuntungan dari polimerisasi kontinu adalah throughput yang tinggi, kontinyu, sifat polimer yang seragam, dan kemampuan untuk menghasilkan polimer dengan berat molekul tinggi dan biaya rendah, volume tinggi. Kerugiannya adalah investasi modal yang tinggi serta pengoperasian dan pemeliharaan yang kompleks (Castellan et al., 1991).

Sebuah proses dan perangkat untuk produksi kontinyu standar dari *Polyamide* dari Asam Adipat Heksametenadiamina atau Asam Adipat dan Heksametenadiamina menggunakan kombinasi proses spesifik yang diketahui untuk merancang reaktor polimerisasi di mana produk kualitas yang cukup tinggi dapat diproduksi dengan penggunaan energi yang diterapkan seefisien mungkin dan sedemikian rupa sehingga zat awal dapat digunakan secara bergantian dalam tahap pemrosesan individu. Pemanasan awal produk awal menggunakan penukar panas umum hingga 190-

300°C. Polimerisasi produk awal dalam tahap tekanan dengan atau tanpa penghapusan air dan daur ulang produk pada 150–280°C dan tekanan kurang dari 20 bar, pengurasan lelehan *Polymer* dalam kumparan satu hingga lima putaran di bawah pengurangan tekanan lambat, dan kondensasi akhir dari lelehan di setidaknya satu reaktor vertikal umum pada suhu antara 210°C dan 285°C (Blankenburg et al., 2000) .

3. Proses Polimerisasi Fase Padat

Dalam langkah ini, sebagian besar oksigen atmosfer yang diserap oleh pelet selama pembentukan dan penyimpanan dihilangkan, dan pelet dikeringkan hingga mencapai tingkat kelembapan awal yang seragam.

Proses polimerisasi fase padat memiliki keunggulan yaitu mampu menghasilkan *Polymer* dengan berat molekul sangat tinggi tanpa meningkatkan degradasi termal dari *Polymer* tersebut. Meskipun ini berguna untuk nilon-6.6, ini dapat menjadi penting untuk jenis *Polyamide* lain yang tidak dapat diproses dalam fase leleh karena degradasi termal, misalnya banyak *Polyamide* yang mengandung aromatik. Kerugiannya, proses ini dilakukan dengan mengorbankan waktu penahanan yang lama dalam proses berkelanjutan atau langkah pemrosesan yang lambat dalam pemrosesan *batch*. Selain itu, kerusakan termooksidatif selalu meningkat dalam *polymer* seiring dengan peningkatan warna kuning, karena oksigen tidak pernah dapat sepenuhnya dikeluarkan dari reaktor dengan biaya praktis (Castellan et al., 1991) .

Tabel 1.5. Perbandingan Proses Batch, Kontinu, Fase Padat

| No | Parameter | Proses <i>Batch</i> | Proses Kontinu | Proses Polimerisasi Fase Padat |
|----|-----------|---------------------|----------------|--------------------------------|
| | | | | |

| | | | | |
|----|-----------------|---|---|---|
| 1. | Keuntungan | Fleksibilitas, pengoperasiannya relatif sederhana, polimerisasi mendekati kesetimbangan | Kontinu, sifat polimerisasi yang seragam, menghasilkan polimer yang berat molekulnya tinggi | Menghasilkan berat molekul yang sangat tinggi tanpa meningkatkan degradasi termal |
| 2. | Kerugian | Berat molekul polimer rendah | Investasi modal tinggi, biaya pemeliharaannya kompleks | Mengorbankan waktu penahanan yang lama, polimer berwarna kuning |
| 3. | Tekanan | 1750 kPa | 40 kPa | - |
| 4. | Suhu | 275°C | 275°C | 150-200°C |
| 5. | Waktu Tinggal | Sesuai | Sesuai | Lama (6-24jam) |
| 6. | Kondisi Operasi | Membatasu laju Steady state | Steady state | - |

Dari tabel diatas alasan menggunakan proses kontinu karena mendapatkan keuntungan yang lebih baik dibanding proses batch. Semakin cepat produk di produksi maka akan semakin baik keuntungannya. Dalam proses kontinu bahan baku akan dimasukan secara terus menerus dan produk yang dihasilkan akan keluar dengan terus menerus. Proses batch baik digunakan pada fermentasi karena tidak menambahkan bahan apapun. Sedangkan untuk proses pembuatan

Polyamide bahan baku harus dimasukan secara bertahap agar mendapatkan hasil yang baik.

1.6 Uraian Proses

1.6.1 Proses Persiapan Bahan Baku

Proses produksi *Polyamide* yang dipilih adalah menggunakan sistem Kontinu. Produksi *Polyamide* dilakukan dalam urutan yang secara khusus disesuaikan dalam setiap kasus dengan persyaratan produk dan dengan pengaturan peralatan yang disesuaikan dengan urutan proses yang optimal.

Bahan awal diumpankan secara Kontinu melalui wadah penyimpanan untuk larutan garam AH (Asam Adipat Heksametenilendiamina) atau peralatan pelarutan untuk garam AH, dengan memasukkan bahan awal secara bertahap atau terus menerus, ke alat pengangkut dan pengukuran, dan bahan awal atau campuran tersebut kemudian dilewatkan melalui penukar panas.

Dalam penukar panas umum, bahan awal dipanaskan terlebih dahulu hingga suhu mencapai 220°C masuk ke reaktor bertekanan 20 atm untuk mereaksikan asam adipat dengan heksametilena diamina menjadi larutan garam nilon 6,6.

1.6.2 Tahap Polimerisasi

Untuk polimerisasi Asam Adipat dan Heksametenilendiamina, diketahui bahwa larutan garam Asam Adipat Heksametenilena diamina berair, yang dipanaskan dalam reaktor bertekanan hingga suhu dalam kisaran 220°C, digunakan sebagai bahan awal dengan tujuan menyiapkan prakondensat Garam Asam Adipat Heksametenilendiamina. Diketahui juga bahwa larutan garam Heksametenilendiamina atau Asam Adipat berair dipanaskan di bawah tekanan dengan penguapan air yang serentak.

Setelah membentuk larutan garam nilon selanjutnya masuk kedalam evaporator bertekanan 2319.8 kPa dengan temperatur 220°C guna memisahkan air dengan larutan nilon

Kondensasi pasca peleburan *Polymer* dilakukan dalam reaktor vertikal dengan penggunaan elemen yang meningkatkan luas permukaan dan pengaturan ketinggian yang bergantung pada bahan awal, pada suhu dalam kisaran dari 210°C hingga 285°C.

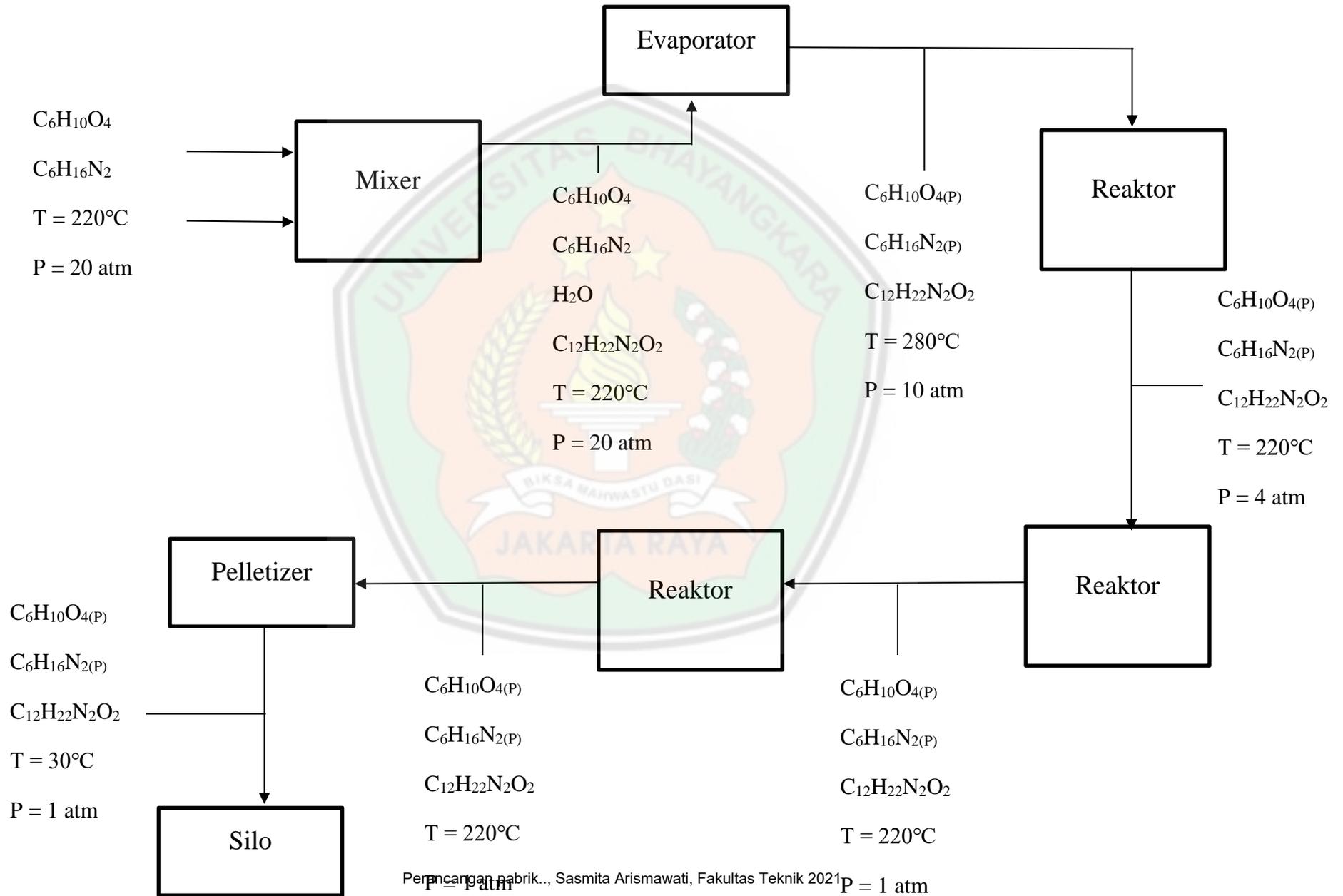
1.6.3 Tahap Pembentukan Produk

Asam adipat, Heksametilena diamina masuk kedalam tangki pencampur. Larutan garam Asam Adipat Heksametilenadamina berair dimasukkan kedalam reaktor 1 melalui penukar panas pertama lalu diangkat menggunakan pompa dan masuk kedalam penukar panas kedua dan kemudian masuk kedalam reaktor bertekanan dengan tekanan 2 atm, kelebihan air dikeluarkan dari proses melalui evaporator dengan suhu 220°C. Kemudian larutan garam nilon masuk kedalam 3 reaktor polimerisasi dengan suhu masuk 280°C dan dengan tekanan 10 atm pada reaktor polimerisasi pertama. Selanjutnya masuk kedalam pelletizer untuk membentuk hasil akhir pellet.

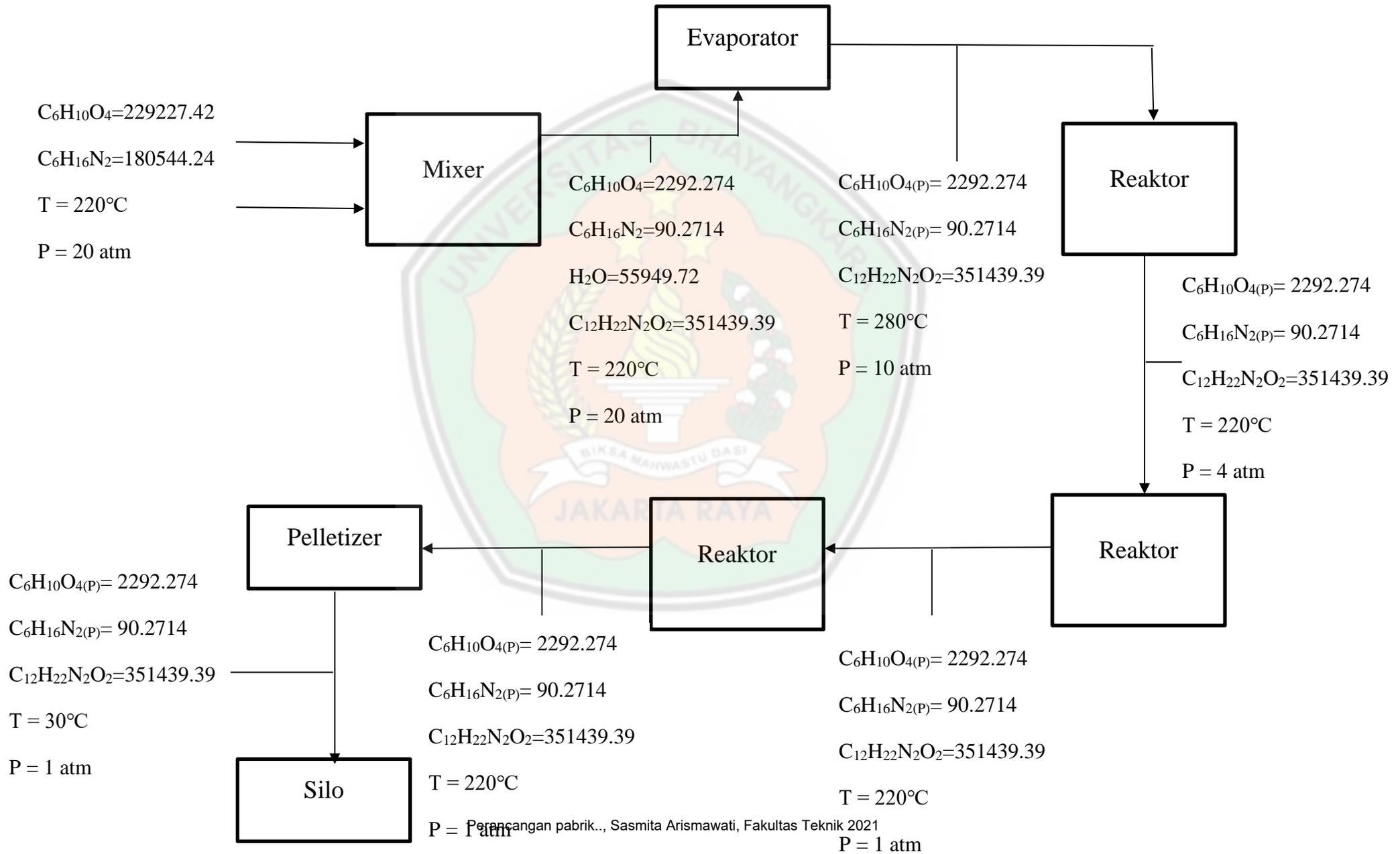
1.6.4 Tahap Penyimpanan

Polyamide yang sudah terbentuk yang membentuk pellet kemudian di simpan dalam tangki penyimpanan silo.

1.6.5 Diagram Alir Kualitatif



1.6.6 Diagram Alir Kuantitatif



Kecepatan reaksi dapat dinyatakan dengan persamaan Arrhenius :

$$k = A \exp \left[\frac{-Ea}{RT} \right]$$

Keterangan :

k = konstanta kecepatan reaksi A = frekuensi tumbukan

T = Suhu Ea = energi aktivasi

R = tetapan gas ideal (8,314 J/mol K) = (8,314x10⁻³)kJ/mol K

Pada suhu 210°C (483K) dengan Ea = -247,84 kJ/mol dan A= 4,43 dapat diturunkan rumus :

Energi Kinetika :

$$k = A \exp \left[\frac{-Ea}{RT} \right]$$

$$k = 4.43 \exp \left[\frac{-(-247,84)kJ/mol}{0.008314kJ/mol K \times 483 K} \right]$$

$$k = 2.820$$

Pada suhu 285°C (558 K) dengan Ea = -247.84 kJ/mol dan A= 4.78 dapat diturunkan rumus :

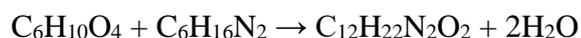
Energi Kinetika :

$$k = 4.78 \exp \left[\frac{-(-247.84)kJ/mol}{0.008314kJ/mol K \times 558 K} \right]$$

$$k = 7.597$$

1.7.2 Tinjauan Termodinamika

Untuk mengetahui sifat reaksi, melepaskan panas (eksotermis) dan membutuhkan panas (endotermis), mengetahui arah reaksi apakah reaksi berjalan searah (*irreversible*) atau berbalik (*reversible*) maka dibutuhkan tinjauan secara termodinamika. Untuk menentukan termodinamika, persamaannya menjadi :



Penentuan panas dapat dihitung dengan menggunakan rumus (ΔH°_f) pada $P = 1 \text{ atm}$ dan $T = 298\text{K}$.

Tabel 1.6. Data Entalpi Pembentukan Standar

| Komponen | ΔH°_f |
|------------------|----------------------|
| Asam Adipat | -998,22 kJ/mol |
| Heksdiamine | -205 kJ/mol |
| Poliamida | -329,40 kJ/mol |
| H ₂ O | -241,83 kJ/mol |

Sumber : Chemeo.com

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ total} &= \Delta H^{\circ} \text{ produk} - \Delta H^{\circ} \text{ reaktan} \\ &= (-329.40) - ((-998.22) + (-205) + (-241.83)) \\ &= +1115.65 \text{ (Endotermis)}\end{aligned}$$

Dari data diatas didapat ΔH°_f bernilai positif yang menunjukkan reaksi pembentukan *Polyamide* bersifat endotermis (membutuhkan panas) selama reaksi berlangsung.

Energi Bebas Gibbs (ΔG°) digunakan untuk menentukan apakah reaksi berlangsung secara spontan, tidak spontan, atau berada dalam kesetimbangan. Jika nilai ΔG° adalah negatif maka reaksi dapat berjalan, jika bernilai positif maka reaksi tidak dapat berjalan, sedangkan jika ΔG° adalah nol maka reaksi bersifat spontan. Berikut adalah perhitungan nilai ΔG° .

Tabel 1.7. Data Pembentukan Energi Bebas

| Komponen | $\Delta G^\circ F$ |
|------------------|--------------------|
| Asam Adipat | -531,84 kJ/mol |
| Heksdiamine | +132,54 kJ/mol |
| Poliamida | -15,18kJ/mol |
| H ₂ O | -237,18kJ/mol |

Sumber : Chemeo.com

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ f \text{ total} &= \Delta G \text{ produk} - \Delta G \text{ reaktan} \\ &= (-15,18) - (-531,84 + 132,54 - 237,18) \\ &= -621,3 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Perhitungan harga konstanta kesetimbangan (K) dapat ditinjau dari persamaan berikut ini :

$$k = (\exp) - \frac{\Delta G}{RT}$$

Dari persamaan diatas dapat dihitung konstanta kesetimbangan pada $T_{\text{referensi}} = 298\text{K}$ adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} K_{298} &= (\exp) - \frac{-621,3}{0,008314 \times 298} \\ &= 253,48 \end{aligned}$$

Dari nilai K yang didapat maka dapat disimpulkan reaksi berjalan secara spontan dan irreversibel (searah).

1.8 Spesifikasi Bahan

1.8.1 Spesifikasi Bahan Baku

1. Asam Adipat

Pada pembuatan *Polyamide* bahan-bahan yang digunakan yaitu Asam Adipat dan Heksa Metilena Diamina. Sifat-sifat fisika dan kimia bahan-bahan tersebut diuraikan sebagai berikut :

- Struktur Kimia : The chemical structure shows a six-carbon chain with carboxylic acid groups at both ends. The carbons are numbered 1 to 6 from left to right. Carbon 1 is part of a carboxyl group (HO-C=O), carbon 2 is a methylene group (-CH2-), carbon 3 is a methylene group (-CH2-), carbon 4 is a methylene group (-CH2-), carbon 5 is a methylene group (-CH2-), and carbon 6 is part of another carboxyl group (-C(=O)-OH).
- Nama Lain : *Hexanedioic Acid*
- Rumus Molekul : $C_6H_{10}O_4$
- Berat Molekul : 146,14 g/mol
- Kemurnian : 99,95 %
- Wujud : Kristal Putih
- Densitas : 1,07 g/ml
- Viskositas : 4,54 Cps
- Titik Lebur : 151-154 °C (304-309°F)
- Titik Didih : 337 °C (610 K)
- Kelarutan Dalam Air : 1,32 gr dalam 100 gr air pada suhu 40°C
- Panas Spesifik : 1,59 J/kg
- Sifat : Beracun
- Ph : 2,7 – 23 g/l 25°C
- Asam Adipat stabil secara termis dalam nitrogen untuk menghilangkan warnanya dibutuhkan pemanas pada suhu 232°C selama 15 jam.
- Asam Adipat pada titik didihnya selama 4 menit menjadi *polymer adipic anhidrid* 7%.
- Asam Adipat stabil terhadap oksidasi metode untuk memurnikannya adalah dengan rekristalisasi dari asam nitrat. Pada kondisi tersebut kemungkinan terjadinya oksidasi oleh udara terhadap asam sangat kecil. Meskipun dipanaskan sampai 275°C pada tekanan tinggi.

- Pada kondisi lain, Asam Adipat teroksidasi oleh asam kromat membentuk karbon dioksida, air dan asam suksinat sebagai satu-satunya hasil yang dapat diambil.
- Oksidasi agent yang lain seperti *Potassium Permanganate*, menyerang asam pada suhu kamar walaupun reaksinya sangat lambat. Hasil oksidasi pada reaksi ini adalah CO₂ dan H₂O.

Sumber : Material Safety Data Sheet

2. Heksa Metilena Diamina

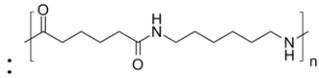
- Struktur Kimia : 
- Nama Lain : 1,6-Hexanediamine
- Rumus Molekul : C₆H₁₆N₂
- Berat Molekul : 116 Kg/kmol
- Kemurnian : 99%
- Wujud : Bubuk putih
- Densitas : 0.84 g/mL
- Viskositas : 1,46 Mpa (50°C)
- Titik Lebur : 42-45 °C
- Titik Didih : 204-205 °C
- Kelarutan Dalam Air : 490g/L (20 °C)
- Sifat : Beracun
- Heksa Metilena Diamina disimpan pada temperatur 2-8 °C
- Stabil, mudah terbakar, tidak kompatibel dengan pengoksidasi kuat agen asam kuat, bahan organik.
- Dapat larut atau menyala pada alkohol

Sumber : Material Safety Data Sheet

1.8.2 Spesifikasi Produk

1. Poliamida

Produk yang dihasilkan dari Asam Adipat dan Heksa Metilena Diamina adalah *Polyamide*. Sifat-sifat fisika dan kimia bahan-bahan tersebut diuraikan sebagai berikut :

- Struktur Kimia : 
- Nama Lain : Poly[imino(1,6dioxohexamethylene) iminohexamethylene]
- Rumus Molekul : $(C_{12}H_{22}N_2O_2)_n$
- Berat Molekul : 1,14 kg/mol
- Kemurnian : 99,8%
- Wujud : Bubuk kristal putih
- Densitas : 1.140 g/mL
- Titik Lebur : 260- 265 ° C
- Titik Didih : 452.1 °C
- Kelarutan Dalam Air : 1,5g / 100ml (pada 20°C)
- Sifat : Beracun
- *Polyamide* tahan terhadap pelarut dalam pencucian kering.
- *Polyamide* tahan terhadap asam encer.
- Dalam *HCl* pekat mendidih dalam beberapa jam akan terurai menjadi Asam Adipat dan Heksa Metilena Diamonium Hidroklorida.
- *Polyamide* sangat tahan terhadap basa.
- Pelarut yang bisa melarutkan nilon diantaranya asam formiat, kresol dan fenol.

Sumber :Material Safety Data Sheet