



BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Kaprolaktam (2-oxohexamethylenimine, hexahydro-2H-azepin-2-one) adalah salah satu bahan kimia yang sering digunakan di dunia. Kaprolaktam banyak digunakan di bidang industri yaitu bahan baku nilon-6, pelarut dispersi poliuretan, bahan baku asam amino kaproat, dan produksi obat-obatan. Kaprolaktam sebagai bahan baku pembuatan nilon-6 dimana nilon-6 digunakan sebagai serat kain serta dapat digunakan untuk produksi karpet dan tali ban. Nilon-6 juga digunakan dalam industri elektronik dan elektroteknik, pengembangan komposit dan nanomaterial baru. Nilon-6 juga sering digunakan sebagai alternatif logam pada komponen di bawah kap mobil dimana fleksibilitas desain serta ketahanan suhu dan kimia sangat penting. Nilon-6 ideal untuk digunakan dalam kemasan makanan (mono atau multi-lapis) dan digunakan dalam aplikasi medis.

Pada saat ini perkembangan industri di dunia, khususnya industri kimia terus meningkat secara kualitatif dan kuantitatif. Hal ini mengakibatkan kebutuhan bahan kimia seperti kaprolaktam dalam dunia industri juga ikut meningkat. Kebutuhan bahan kimia di Indonesia seringkali dipenuhi dengan cara impor dari luar negeri terutama jika pabrik pemasok belum tersedia di Indonesia, sehingga mengakibatkan biaya yang cukup besar untuk memenuhi bahan baku. Menurut data BPS (2019-2024) impor kaprolaktam di Indonesia tiap tahunnya cenderung meningkat. Kebutuhan kaprolaktam di Indonesia dapat dilihat pada tabel sebagai berikut,



Pra Rencana Pabrik
Pabrik Kaprolaktam dari Sikloheksanon dan Hidroksilamin Sulfat
dengan Proses *Rearrangement Beckmann*
Kapasitas 100.000 Ton/Tahun

Tabel I.1 Data Pertumbuhan Impor Kaprolaktam di Indonesia Tahun 2019-2024

Tahun	Impor	
	Ton/Tahun	Pertumbuhan
2019	32.060	
2020	33.330	4%
2021	33.084	-0,7%
2022	35.090	6,1%
2023	37.433	6,7%
2024	40.260	7,6%
Pertumbuhan Rata-Rata		4,7%

(Sumber : Badan Pusat Statistik [BPS] tahun 2019-2024)

Ditinjau dari data pertumbuhan impor Kaprolaktam di Indonesia dapat disimpulkan bahwa pertumbuhan impor Kaprolaktam di Indonesia terus meningkat setiap tahunnya. Dilihat dari tahun 2019 ke tahun 2020 pertumbuhan impor Kaprolaktam sebesar 4%, kemudian dari tahun 2020 ke tahun 2021 mengalami penurunan sebesar 0,7% dilanjutkan pada tahun 2021 ke tahun 2022 mengalami kenaikan sebesar 6,1% dan pada tahun 2022 ke tahun 2023 mengalami kenaikan sebesar 6,7%, dan terakhir pada tahun 2023 ke tahun 2024 mengalami kenaikan sebesar 7,6%. Sehubungan dengan peningkatan kebutuhan kaprolaktam di Indonesia tidak diimbangi dengan keberadaan pabrik kaprolaktam di Indonesia sehingga kebutuhan kaprolaktam harus impor tiap tahunnya dengan jumlah yang besar. Hingga saat ini hanya terdapat rancangan pabrik kaprolaktam saja tetapi realisasi pabrik kaprolaktam masih belum tersedia di Indonesia.

Berdasarkan pra rancangan pabrik Arief (2019) yaitu pabrik kaprolaktam dari asam benzoat dengan proses SNIA dengan tekanan 17 atm dan suhu 170 °C serta menggunakan katalis palladium, sedangkan berdasarkan pra rancangan pabrik Amalia (2012) yaitu pabrik pembuatan kaprolaktam dengan proses *Societa Nazionale Industria Applicazioni-Viscosa* (SNIA-Viscosa) dari toluena dengan tekanan 17 atm dan suhu 170 °C serta menggunakan katalis palladium dan cobalt



Pra Rencana Pabrik
Pabrik Kaprolaktam dari Sikloheksanon dan Hidroksilamin Sulfat
dengan Proses *Rearrangement Beckmann*
Kapasitas 100.000 Ton/Tahun

naffenat. Kelebihannya yaitu bahan baku toluena dan asam benzoat lebih mudah didapatkan di Indonesia, tetapi prosesnya cenderung rumit dan membutuhkan banyak alat sehingga biaya operasional pun semakin besar. Selain itu, terdapat prarancangan pabrik Nur (2021) yaitu pabrik kaprolaktam dari sikloheksanon oksim dan asam sulfat menggunakan proses *Rearrangement Beckmann* dengan tekanan 1 atm dan suhu operasi 110 °C. Kelebihannya yaitu alat yang digunakan pada proses *Rearrangement Beckmann* lebih sedikit daripada proses SNIA-Viscosa dan suhu operasi yang dijalankan tidak terlalu tinggi. Kelemahannya yaitu produk yang dihasilkan memiliki kemurnian yang rendah karena hanya menggunakan alat pemisah berupa *centrifuge* dan bahan baku sikloheksanon oksim tidak ada di Indonesia maupun luar negeri sehingga harus dilakukan pembuatan sikloheksanon oksim terlebih dahulu.

Pembaruan pada pabrik kaprolaktam yang akan dibangun yaitu menggunakan bahan baku sikloheksanon dan hidroksilamin sulfat serta menjalankan kondisi operasi yang cenderung rendah yaitu tekanan operasi 2 atm dan suhu operasi 115 °C. Kelebihan lainnya yaitu proses pemisahan dilakukan dengan ekstraksi menggunakan pelarut toluena yang bertujuan untuk meningkatkan kemurnian kaprolaktam yang dihasilkan menjadi 99%. Pada pabrik ini digunakan alat utama yaitu reaktor alir tangki berpengaduk pada proses amoksimasi, proses *Rearrangement Beckmann*, dan proses netralisasi. Terdapat beberapa kelebihan dari pemilihan alat utama reaktor alir tangki berpengaduk yaitu kemampuan operasinya yang dapat diatur sesuai kapasitas serta sesuai dengan fase bahan yang akan masuk reaktor yaitu fase cair.

Pendirian pabrik kaprolaktam dari sikloheksanon dan hidroksilamin sulfat ini diharapkan dapat memenuhi kebutuhan kaprolaktam di Indonesia. Diharapkan juga dapat membantu mengurangi angka impor terhadap kaprolaktam di Indonesia. Berdasarkan kenyataan inilah, maka industri Kaprolaktam akan memiliki prospek yang cukup baik di Indonesia untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Selain itu, didukung dengan beberapa faktor antara lain:



Pra Rencana Pabrik
Pabrik Kaprolaktam dari Sikloheksanon dan Hidroksilamin Sulfat
dengan Proses *Rearrangement Beckmann*
Kapasitas 100.000 Ton/Tahun

1. Jangkauan pemasaran Kaprolaktam di Indonesia cukup memadai, mengingat Indonesia merupakan negara yang sedang mengembangkan industrinya dan Kaprolaktam mempunyai berbagai kegunaan yang dapat dipakai dalam berbagai industri-industri lain terutama sebagai bahan baku nylon-6.
2. Sampai saat ini kebutuhan Kaprolaktam di Indonesia untuk keperluan industri-industri masih terus meningkat, hal ini juga dapat dilihat dari tabel kebutuhan impor Kaprolaktam di Indonesia.

Berdasarkan uraian diatas dapat disimpulkan bahwa perlunya pendirian pabrik kaprolaktam di Indonesia mengingat :

1. Sebagai upaya untuk memenuhi kebutuhan kaprolaktam di Indonesia yang setiap tahunnya semakin meningkat sehingga dapat mengurangi impor dari luar negeri
2. Sebagai upaya untuk menumbuhkan dan memperkuat perekonomian di Indonesia melalui sektor non-pangan terutama industri tekstil
3. Sebagai upaya untuk meningkatkan lapangan pekerjaan dalam negeri sehingga dapat mengurangi jumlah pengangguran.

I.2 Manfaat

Manfaat pendirian pabrik Kaprolaktam ini diharapkan :

1. Dapat memenuhi kebutuhan permintaan kaprolaktam di dalam negeri, sehingga dapat mengurangi ketergantungan terhadap negara lain.
2. Dapat meningkatkan devisa negara dengan melakukan ekspor kaprolaktam dari dalam negeri.
3. Memacu pertumbuhan industri-industri baru yang menggunakan bahan baku kaprolaktam.
4. Dapat menciptakan lapangan kerja baru bagi masyarakat dan dapat menunjang pemerataan pembangunan serta dapat meningkatkan taraf hidup masyarakat.

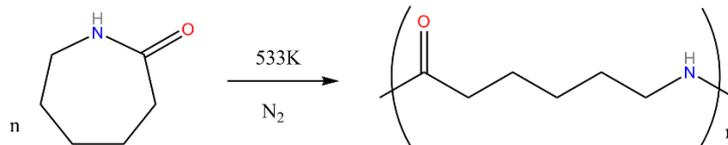


I.3 Kegunaan Kaprolaktam

Terdapat berbagai macam kegunaan karbon disulfida dalam dunia industri, berikut merupakan macam-macamnya:

1. Bahan Baku Nylon-6

Polyamida-6 (PA6, Nylon-6) diproduksi melalui proses polimerisasi pada senyawa yang mengandung gugus amina pada salah satu ujungnya dan mengandung gugus asam pada ujung lainnya. Sebagai contoh adalah proses polimerisasi pembukaan cincin kaprolaktam untuk menghasilkan Nylon-6.



Gambar I.1 Reaksi pembentukan Nylon-6 dari Kaprolaktam

Nilon-6 disintesis melalui polimerisasi pembukaan cincin kaprolaktam. Kaprolaktam memiliki 6 karbon, maka Nilon 6. Ketika kaprolaktam dipanaskan pada suhu sekitar 533°K dalam atmosfer nitrogen inert selama sekitar 4–5 jam, cincinnya pecah dan mengalami polimerisasi. Kemudian massa cair dilewatkan melalui pemintal membentuk serat nilon-6.

Selama proses polimerisasi kaprolaktam, ikatan peptida pada tiap kaprolaktam akan terbuka, gugus aktif pada masing-masing sisi membentuk kembali dua ikatan baru sebagai monomer, dan menjadi rantai utama polimer (polymer backbone).

(Humphry, 2017)

2. Pelarut Dispersi Poliuretan

Pelarut turunan kaprolaktam cocok untuk memproses pelarut dan bahan penggabung dalam PUD yang dibuat melalui proses pembuatan PUD tradisional atau sebagai bahan penggabung dalam PUD yang dibuat melalui proses pembuatan PUD bebas pelarut. Campuran lebih dari satu pelarut turunan kaprolaktam dapat digunakan sebagai pelarut pemrosesan dan/atau bahan penggabung.



Pra Rencana Pabrik
Pabrik Kaprolaktam dari Sikloheksanon dan Hidroksilamin Sulfat
dengan Proses *Rearrangement Beckmann*
Kapasitas 100.000 Ton/Tahun

Poliuretan (PU) banyak digunakan sebagai bahan pelapis yang diaplikasikan pada peralatan industri. Hal ini dikarenakan pelapisan menggunakan poliuretan membuat peralatan industri menjadi lebih tahan lama. Poliuretan merupakan bahan campuran karet dan plastik, sehingga larutannya menjadikan permukaan peralatan tahan terhadap gesekan serta tidak mudah aus karena ketahanannya terhadap zat kimia. Oleh karena itu, banyak yang memanfaatkan poliuretan sebagai bahan pelapis, *flooring system*, dan lain sebagainya.

Poliuretan merupakan bahan plastik yang ada dalam berbagai bentuk. Bahan ini dapat disesuaikan menjadi kaku atau fleksibel dan merupakan bahan pilihan untuk berbagai aplikasi pengguna akhir.

(Asirvatham, 2019)

3. Bahan Baku Asam Amino Kaproat

ϵ -Kaprolaktam diubah menjadi polimer asam ϵ -amino kaproat dengan pemanasan di bawah tekanan dengan air diikuti dengan distilasi air dan pemanasan pada tekanan atm. Laktam dipolimerisasi langsung ke polimer ini melalui metode katalitik dimana sodiokaprolaktam adalah inisiatornya. Asam amino kaproat merupakan agen antifibrinolitik yang bekerja dengan menghambat activator plasminogen yang mana memiliki sifat fibrinolitik. Obat ini merupakan bentuk sintetik dari suatu protein yang secara alami terdapat di dalam tubuh dan membantu darah untuk membeku (*clotting*).

(Handford, 2018)

4. Produksi obat-obatan

Kaprolaktam digunakan sebagai bahan baku medis untuk memproduksi beberapa obat, seperti *pentylenetetrazol*, *meptazinol*, and *laurocapram*.

(Sancheti, 2021)



Pra Rencana Pabrik
Pabrik Kaprolaktam dari Sikloheksanon dan Hidroksilamin Sulfat
dengan Proses *Rearrangement Beckmann*
Kapasitas 100.000 Ton/Tahun

I.4 Aspek Ekonomi

Perkembangan industri Kaprolaktam digunakan untuk memenuhi kebutuhan akan kaprolaktam di Indonesia dan untuk ekspor jika nanti dapat diperluas. Kebutuhan kaprolaktam mempunyai potensi tinggi melihat dari kegunaan kaprolaktam yang luas dan berkembang.

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik, kebutuhan Kaprolaktam di Indonesia mengalami kenaikan tiap tahunnya. Hal ini dapat dilihat dari tabel dibawah ini :

Tabel I.2 Data Impor Kaprolaktam di Indonesia Tahun 2019-2024

Tahun	Impor	
	Ton/Tahun	Pertumbuhan
2019	32.060	
2020	33.330	4%
2021	33.084	-0,7%
2022	35.090	6,1%
2023	37.433	6,7%
2024	40.260	7,6%
Pertumbuhan Rata-Rata		4,7%

(Sumber: Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2019-2024)

Tabel I.3 Data Kebutuhan Kaprolaktam di Indonesia Tahun 2019-2024

Tahun	Kebutuhan Kaprolaktam	
	Ton/Tahun	Pertumbuhan
2019	95.450	
2020	96.575	1,18%
2021	96.750	1,81%
2022	98.020	1,31%
2023	100.360	2,39%
2024	100.830	0,47%
Pertumbuhan Rata-Rata		1,11%

(Sumber : Data Industri yang membutuhkan Kaprolaktam, 2019-2024)



Pra Rencana Pabrik
Pabrik Kaprolaktam dari Sikloheksanon dan Hidroksilamin Sulfat
dengan Proses *Rearrangement Beckmann*
Kapasitas 100.000 Ton/Tahun

Berdasarkan tabel impor dan kebutuhan kaprolaktam di Indonesia, perhitungan kapasitas produksi dapat dicari menggunakan rumus :

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

Dimana :

- m_1 = nilai impor kaprolaktam pada tahun 2028
 m_2 = produksi pabrik kaprolaktam di dalam negeri (=0)
 m_3 = kebutuhan kaprolaktam tahun 2028, (ton/tahun)
 m_4 = nilai ekspor kaprolaktam pada tahun 2028 (=0)
 m_5 = nilai konsumsi dalam negeri tahun 2028

Diketahui untuk mendapatkan nilai m_1, m_2, m_3, m_4, m_5 dapat menggunakan rumus:

$$m_{(y)} = P(1 + i)^n$$

Dimana :

- $m_{(y)}$ = Jumlah produk pada tahun 2028, ton/tahun
P = Kebutuhan Kaprolaktam pada tahun 2024, ton/tahun
i = Rata-rata % pertumbuhan
n = Selisih tahun pada data yang digunakan

maka,

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

$$m_1 + 0 + m_3 = 0 + m_5$$

$$m_3 = m_5 - m_1$$

$$m_3 = (100.830 \times (1 + 1,11) \times 6) - (40.260 \times (1 + 0,47) \times 6)$$

$$m_3 = 298.956 \text{ ton/tahun}$$



Pra Rencana Pabrik
Pabrik Kaprolaktam dari Sikloheksanon dan Hidroksilamin Sulfat
dengan Proses *Rearrangement Beckmann*
Kapasitas 100.000 Ton/Tahun

Untuk perencanaan, pabrik direncanakan memproduksi 33% dari total kebutuhan pada tahun 2028 maka kapasitas produksi pabrik:

$$298.956 \text{ ton/tahun} \times 33\% = 98.655,63 \text{ ton/tahun} \approx 100.000 \text{ ton/tahun.}$$



I.5 Sifat Bahan Baku dan Produk

I.5.1 Bahan Baku

1. Sikloheksanon

Sifat Fisika dan Kimia

- a. Berat molekul : 98,15 g/mol
- b. Rumus molekul : $C_6H_{10}O$
- c. Bentuk : cair
- d. Warna : tidak berwarna, sampai, kuning muda
- e. Titik didih : 155 °C
- f. Titik lebur : -47 °C
- g. Densitas : 0,95 gr/cm³
- h. Kelarutan : 90 g/l dalam air pada suhu 20 °C
- i. Kemurnian : 99%
- j. Impuritas : 1% H₂O

(PT. Chandra Asri Petrochemical, 2024)

2. Hidroksilamin Sulfat

Sifat Fisika dan Kimia

- a. Berat molekul : 164,14 g/mol
- b. Rumus molekul : $(NH_2OH)_2 \cdot H_2SO_4$
- c. Bentuk : padat
- d. Warna : putih
- e. Titik didih : 56,5 °C
- f. Titik leleh : 170 °C
- g. Densitas : 1,86 gr/cm³
- h. Kemurnian : 99%
- i. Impuritas : 1% H₂O
- j. Kelarutan : 329 g/L dalam air

(PT. Lotte Chemical Titan, 2024)



Pra Rencana Pabrik
Pabrik Kaprolaktam dari Sikloheksanon dan Hidroksilamin Sulfat
dengan Proses *Rearrangement Beckmann*
Kapasitas 100.000 Ton/Tahun

3. Ammonium Hidroksida

Sifat Fisika dan Kimia

- a. Berat molekul : 35 g/gmol
- b. Rumus molekul : NH_4OH
- c. Bentuk : cair
- d. Warna : tidak berwarna
- e. Titik didih : $37,7\text{ }^\circ\text{C}$
- f. Titik lebur : $-57,5\text{ }^\circ\text{C}$
- g. Sangat mudah larut dalam air, alkohol, dan ether
- h. Korosif
- i. Kemurnian : 30%
- j. Impuritas : 70% H_2O

(PT. Pupuk Kujang Cikampek, 2024)

4. Toluena

Sifat Fisika dan Kimia

- a. Berat molekul : 92,14 g/mol
- b. Rumus molekul : C_7H_8
- c. Bentuk : cair
- d. Warna : tidak berwarna
- e. Titik didih : $110-111\text{ }^\circ\text{C}$
- f. Titik leleh : $170\text{ }^\circ\text{C}$
- g. Densitas : 0,865 gr/mL
- h. Kemurnian : 99%
- i. Impuritas : 1% H_2O
- j. Tidak larut dalam air
- k. Aroma seperti pengencer cat

(PT. Styrimo Mono Indonesia, 2024)

5. Asam Sulfat

Sifat Fisika dan Kimia

- a. Berat molekul : 98,08 g/mol
 - b. Berat molekul : H_2SO_4
-



Pra Rencana Pabrik
Pabrik Kaprolaktam dari Sikloheksanon dan Hidroksilamin Sulfat
dengan Proses *Rearrangement Beckmann*
Kapasitas 100.000 Ton/Tahun

- c. Bentuk : cair
- d. Warna : tidak berwarna
- e. Titik didih : 290 °C
- f. Titik leleh : 3 °C
- g. Densitas : 1,84 gr/cm³
- h. Kemurnian : 98%
- i. Impuritas : *Chlorida (Cl) 10 ppm
*Nitrate (NO₃) 5 ppm
*Besi (Fe) 50 ppm
*Timbal (Pb) 50 ppm
- j. Larut dalam air

(PT. Indonesian Acid Industry, 2024)

I.6.2 Bahan Baku Pembantu

1. Air

Sifat Fisika dan Kimia

Air yang digunakan untuk air proses, air sanitasi, air umpan boiler, dan sebagai media pendingin berasal dari sungai Ciujung, Banten. Terdapat hasil pengujian beberapa parameter pada sungai Ciujung yaitu COD, BOD, DO, Nitrat, pH, TDS, dan TSS yang akan ditampilkan dalam tabel dibawah,

Tabel I.11 Hasil Pengujian Air Sungai Ciujung

Parameter	Hasil Uji Air Sungai Ciujung (mg/L)
COD	2.91
BOD	6.25
DO	0.45
Nitrat	0.18
pH	0.28
TDS	0.11
TSS	2.88

(Sumber : PPKL Menteri Lingkungan Hidup dan Kesehatan, 2025)



Pra Rencana Pabrik
Pabrik Kaprolaktam dari Sikloheksanon dan Hidroksilamin Sulfat
dengan Proses *Rearrangement Beckmann*
Kapasitas 100.000 Ton/Tahun

Baku mutu air sungai berdasarkan klasifikasi kelasnya dibagi menjadi empat yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini,

Tabel I.12 Baku Mutu Air Sungai dan Sejenisnya

Parameter	Kadar maksimum (mg/L)			
	Kelas I	Kelas II	Kelas III	Kelas IV
COD	10	25	40	80
BOD	2	3	6	12
DO (Batas minimum)	6	4	3	1
Nitrat	10	10	20	20
pH	6-9	6-9	6-9	6-9
TDS	1000	1000	1000	2000
TSS	40	50	100	400

(Sumber : PP RI No.22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup : Baku Mutu Air Sungai dan Sejenisnya)

Klasifikasi mutu air dibagi menjadi 4 (empat) kelas yaitu,

1. Kelas I merupakan air yang dapat digunakan sebagai baku mutu air minum (standar baku mutu yang digunakan dalam operasional pabrik kaprolaktam)
2. Kelas II merupakan air yang dapat digunakan untuk prasarana rekreasi air, pembudidayaan ikan, peternakan, dan irigasi tanaman
3. Kelas III merupakan air yang digunakan untuk budidaya ikan dan peternakan
4. Kelas IV merupakan air yang digunakan untuk mengairi tanaman.

Berdasarkan baku mutu air sungai sesuai PP RI No.22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup: Baku Mutu Air Sungai dan Sejenisnya, maka dapat disimpulkan bahwa air sungai Ciujung belum memenuhi syarat baku mutu air sungai



Pra Rencana Pabrik
Pabrik Kaprolaktam dari Sikloheksanon dan Hidroksilamin Sulfat
dengan Proses *Rearrangement Beckmann*
Kapasitas 100.000 Ton/Tahun

Kelas I sehingga membutuhkan sistem utilitas untuk pengolahan air sungai sebelum digunakan dalam operasional pabrik kaprolaktam.

I.5.3 Produk Utama

1. Kaprolaktam

Sifat Fisika dan Kimia

- a. Bentuk : kristal
- b. Warna : putih
- c. Rumus molekul : $C_6H_{11}NO$
- d. Kemurnian : 98,5% kaprolaktam

(BSN, 2023 “Kaprolaktam”)

- e. Berat molekul : 113,16
- f. Densitas : 1,02
- g. Titik leleh : 69,3 °C
- h. Titik didih : 270 °C

(Ullmann, 2012)

I.5.4 Produk Samping

1. Ammonium Sulfat

Sifat Fisika dan Kimia

- a. Rumus molekul : $(NH_4)_2SO_4$
- b. Kadar nitrogen min.20,8%
- c. Kadar belerang min. 23,8%
- d. Asam bebas sebagai H_2SO_4 maks. 0,1%

(BSN, 2022 “Ammonium Sulfat”)