Prarancangan Pabrik *Hexamethylenediamine* dari Adiponitril dengan Proses Hidrogenasi Kapasitas Produksi 45.000 Ton/Tahun

(*Hexamethylenediamine Plant Design from Adiponitrile with Hydrogenation Process Production Capacity 45.000 Tons/Year*)

Sri Handayani, Anisatul Mascalina, Armita Febrianasari, Linda Aliffia Yoshi*

Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Indonesia
Jl. Raya Puspiptek, Serpong, Kota Tangerang Selatan, Provinsi Banten 15320

Abstrak

Hexamethylenediaamine Hexamethylenediamine (HMD) merupakan senyawa kimia dengan rumus molekul $C_6H_{16}N_2$ berwujud padatan kristal tidak berwarna. HMD adalah bahan baku utama dalam pembuatan nylon-66. HMD juga digunakan dalam pembuatan monomer untuk polyurethane dan juga dalam pembuatan resin epoxy. HMD memiliki prospek pasar yang besar dimana kebutuhan HMD selalu meningkat setiap tahunnya, sedangkan produksi dalam negeri belum tersedia. Oleh karena itu peluang pendirian pabrik HMD ini sangatlah bagus untuk dapat memenuhi kebutuhan dalam dan luar negeri. Pabrik direncakanan akan dibangun di Cilegon, Banten, dengan kapasitas 45.000 ton/tahun yang diharapkan dapat memenuhi kebutuhan dalam dan luar negeri. Pembangunan dimulai pada awal tahun 2025. Pembuatan HMD menggunakan proses hidrogenasi dengan bahan baku adiponitril (ADN). Langkah pembuatan HMD dilakukan dengan menghidrogenasi ADN dengan gas H_2 menjadi HMD (WO 2012/139652) menggunakan Reactor Fixed Bed yang beroperasi pada suhu 80 ^0C dan tekanan 29 atm, crude HMD yang dihasilkan dari reaktor dimurnikan melalui beberapa tahapan proses sehingga didapat produk HMD dengan kemurnian sebesar 99,2%. Nilai Break Even Poin (BEP) tahun pertama adalah 30.27% dengan Internal Rate of Return (IRR) sebesar 74.88% dan Minimum Payback Period (MPP) adalah 1 tahun 11 bulan

Kata Kunci : Adiponitril, *Hexamethylenediamine*, Hidrogenasi

Abstract

Hexamethylenediamine (HMD) is a chemical compound with the molecular formula $C_6H_{16}N_2$ in the form of a colorless crystalline solid. HMD is the main raw material in the manufacture of nylon-66. HMD also used in the manufacture of monomers for polyurethane and also in the manufacture of epoxy resins. HMD has a good market prospect with consumption for HMD increasing every year, while domestic production is not yet available. Therefore, the opportunities for the establishment of HMD plant are excellent for filling domestic and foreign needs. The plant is planned to be built in Cilegon, Bantenwith a capacity of 45.000 ton/year to meet the needs of the domestic and foreign. The construction will be began in early 2025. The manufactureof HMD uses a hydrogenation process with Adiponitrile (ADN) as a raw material. The step for making HMD are carried out by hydrogenating ADN with H_2 gas into HMD (explained in US Patent WO 2012/139652) using a Fixed Bed Reactor which operates at temperature 75^0C and a pressure 30 atm, The crude HMD produced from the reactor is purified through several processes and obtained a purity of 99,2% in the HMD products. The first year's Break Even Point (BEP) is 30.27% with Internal Rate of Return (IRR) of 74.88% and Minimum Payback Period is 1 year and 11 months.

Keyword : *Adiponitrile, Hexamethylenediamine, Hidrogenation*

*Penulis Korespondensi. Tepl:+62 85649122563;
Alamat E-mail : linda.aliffia@iti.ac.id (Linda Aliffia Yoshi)

1. Pendahuluan

Hexamethylenediamine (HMD) merupakan senyawa kimia dengan rumus molekul $C_6H_{16}N_2$ berwujud padatan kristal tidak berwarna. HMD adalah bahan baku utama dalam pembuatan *nylon-66*. HMD juga digunakan dalam pembuatan monomer untuk *polyurethane* dan juga dalam pembuatan resin *epoxy*. Pada tahun 1900 dilakukan sintesis HMD oleh Theodor Curtius untuk pertama kalinya, namun HMD tidak bernilai jual hingga akhir tahun 1930 dimana akhirnya Du Pont melakukan penelitian mengenai polimer sintesis. Di Indonesia *Nylon-66* banyak diperlukan dalam pembuatan *Nylon tire cord* (Kain ban) [1].

Seiring berkembangnya industri otomotif terutama kendaraan bermotor seperti mobil dan motor menyebabkan kebutuhan akan ban meningkat, sehingga kebutuhan *Nylon tire cord* juga meningkat. Pada tahun 2018, nilai pasar *nylon-66* diperkirakan mencapai lebih dari US $3 miliar, yang diprediksi akan terus meningkat pada tahun 2026. Selain itu *nylon-66* juga digunakan untuk berbagai produk lain seperti karpet, selang, parasut dan lain-lain. Dengan meningkatnya kebutuhan akan *nylon-66* berdampak pada kebutuhan bahan baku pembuat *nylon-66* yaitu HMD yang semakin meningkat.

Tabel 1. Data Impor HMD di Indonesia, (sumber:BPS 2022)

Tahun	Jumlah (ton/tahun)	% Pertumbuhan
2017	7945	-
2018	7970	0,31
2019	8260	3,64
2020	20765	151,39
2021	10470	-49,58
Rata-rata		26,44

Berdasarkan data pada tabel 1.1 terlihat rata-rata pertumbuhan impor HMD di Indonesia tahun 2017 sampai 2021 sebesar 26,44% [2]. Dengan menggunakan %pertumbuhan didapatkan data proyeksi impor HMD di Indonesia hingga tahun 2026, sebagai berikut:

Tabel 2. Proyeksi Impor HMD di Indonesia 2026

Tahun	Kapasitas (Ton/Tahun)
2022	13238
2023	16739
2024	21165
2025	26761
2026	33838

Dalam menentukan kapasitas pabrik harus didasarkan kapaistas minimum pabrik lain dalam pembuatan HMD. Berdasarkan data yang telah terkumpul, pabrik dengan kapasitas terkecil adalah 41.000 ton/tahun oleh Asahi Kasei di Nobeoka, Jepang [3]. Direncanakan pabrik akan mulai didirikan pada tahun 2025 dan mulai beroperasi pada tahun 2026, dengan kapasitas pabrik dihitung berdasarkan peluang = impor, hal ini dikarenakan belum adanya pabrik yang memproduksi HMD di Indonesia sehingga peluang ini untuk memenuhi kebutuhan HMD di dalam negeri.

2. Teori Dasar

HMD dibuat melalui proses hidrogenasi ADN. Reaksi berlangsung dalam reaktor vertikal tubular. Proses ketika reaksi berlangsung akan mengeluarkan panas (eksotermis), yang membutuhkan pemantauan dan memastikan *temperature* reaksi tetap pada *temperature* optimum dengan bantuan media pendingin. Reaksi hidrogenasi ini juga memerlukan katalis berupa katalis *raney-nickel*. Katalis ini akan diumpankan ke dalam reaktor secara kontinyu. Pengumpanan katalis secara kontinyu dikarenakan sifatnya yang mudah terdeaktivasi. Katalis ini berpotensi membentuk endapan dengan gugus nitril yang ada pada reaktan. Untuk menjaga reaksi berjalan konstan, katalis diumpankan dan diekstrak secara kontinyu, yang kemudian akan diregenerasi dan menjadi umpan lagi bersama katalis yang masih baru. Medium yang digunakan pada reaksi ini adalah NaOH dengan jumlah tertentu, NaOH menjaga nilai konversi dan *yield* pada nilai optimum. Reaksi hidrogenasi ADN adalah sebagai berikut:

$C_6H_8N_2$	+	$4H_2$	→	$C_6H_{16}N_2$
Adiponitrile		*Hydrogen*		*Hexamethylenediamine*

Reaksi Hidrogenasi dijalankan pada *temperature* 80 °C dan tekanan 29 atm. Hidrogen diumpankan berlebih melalui bawah reaktor setelah pemanasan untuk memastikan reaksi hidrogenasi terjadi sempurna dan menghindari terjadinya reaksi samping. Reaksi hidrogenasi berjalan selama 1 jam dengan *yield* diharapkan mencapai produk HMD terhadap ADN sebesar ± 99%. Proses produksi HMD memiliki tiga tahap utama yaitu, tahap preparasi dan *pre-treatment*, tahap reaksi hidrogenasi, dan tahap terakhir berupa proses pemurnian produk serta tahap regenerasi katalis.

Tahap preparasi dilakukan sebelum proses berjalan dimana semua bahan baku, katalis dan medium reaksi dilakukan penyesuaian kondisi operasi dengan menaikkan *temperature* dan tekanan sebelum diumpankan ke reaktor. Katalis yang disimpan di *Silo Bucket* dialirkan menggunakan *Screw Conveyor* menuju tangki pencampuran. Medium reaksi NaOH dialirkan dari tangki penyimpanan menuju tangki pencampuran sebagai NaOH ±15%. ADN dari tangki penyimpanan dialirkan menuju tangki pencampuran. Keluaran dikondisikan panasnya sehingga mencapai 80 ^{o}C dengan bantuan pemanas dan keluar menuju reaktor hidrogenasi. Bahan baku gas hidrogen dialirkan dari tangki penyimpanan dengan tekanan 29 atm menuju pemanas sehingga *tempertatur*enya menjadi 80 ^{o}C dan dialirkan menuju reaktor.

Proses reaksi hidrogenasi terjadi ketika bahan baku utama ADN berkontak dengan gas H_2 dalam medium cair NaOH yang konsentrasinya telah disesuaikan. Dalam medium ini juga terdapat katalis logam *raney-nickel* yang membantu mempercepat laju reaksi pembentukan produk. Reaksi yang bersifat eksotermis ini dijaga *temperatur*enya tetap pada 80 ^{o}C dengan bantuan air pendingin pada bagian jaket reaktor. Tekanan operasi juga dikondisikan tetap pada 29 atm dengan mengendalikan laju keluaran gas hidrogen. Gas hidrogen keluaran reaktor didinginkan menggunakan pendingin dan keluaranya kemudian dialirkan kembali ke tangki penyimpanan.

Keluaran bawah berupa katalis yang telah diekstraksi akan menuju tahap pemurnian dan regenerasi katalis. Regenerasi katalis berlangsung didalam *Washing Column*. Kolom ini terdiri atas bagian *head* dan kolom yang berisi *tray-tray* yang dilengkapi pengaduk. Aliran masuk kedalam kolom mealui bagian *head* atau lebih tepatnya bagian siklon. Air pencuci sebagian masuk melalui bagian bawah kolom dan mengalir berlawan dengan aliran endapan katalis, keluar melalui bagian *head* sebagai. Pada bagian bawah kolom tepatnya dalam *tray-tray*, katalis mengalami regenerasi berupa pelepasan gugus nitril dari reaktan ADN dengan bantuan pengadukan. Katalis yang telah diregenerasi keluar bersama sebagian besar air pencuci yang kemudian dilakukan proses pendinginan dengan sehingga *temperature* ± 37^{o}C. Setelah proses pendinginan keluar sebagian dialirkan menuju *Cetrifuge* untuk memisahkan padatan katalis dan air pencuci. Katalis kemudian keluar, dialirkan kembali ke tangki penyimpanan katalis menggunakan *belt conveyor* diiringi udara pemanas untuk mengeringkan padatan katalis.

Aliran atas reaktor didinginkan sehingga *temperature* menjadi 30 ^{o}C digabungkan dengan aliran *head* dari unit *Washing Column* dan aliran larutan NaOH pekat 70% berat ke dalam tangki pencampuran. Pencampuran ini bertujuan untuk meningkatkan konsentrasi NaOH sehingga sistem campuran akan terpisah menjadi dua lapisan berupa HMD-air-ADN dan NaOH-air. Dua lapisan akan terbentuk ketika konsentrasi NaOH sudah di atas 40% berat. Campuran dengan dua lapisan ini kemudian dialirkan menuju *decanter* untuk di pisahkan, dengan *decanter* beroperasi pada *temperature* 70 ^{o}C. Keluaran bawah *decanter* berisi larutan NaOH dengan konsentrasi di atas 40% berat dialirkan menuju evaporator untuk dipekatkan. Aliran atas *decanter* berupa produk HMD dengan kemurnian 99.2% didinginkan dengan sehingga *temperatur*enya 30 ^{o}C, kemudian dialirkan ke tangki penyimpanan produk HMD [4].

3. Hasil dan Pembahasan

Kebutuhan Utilitas

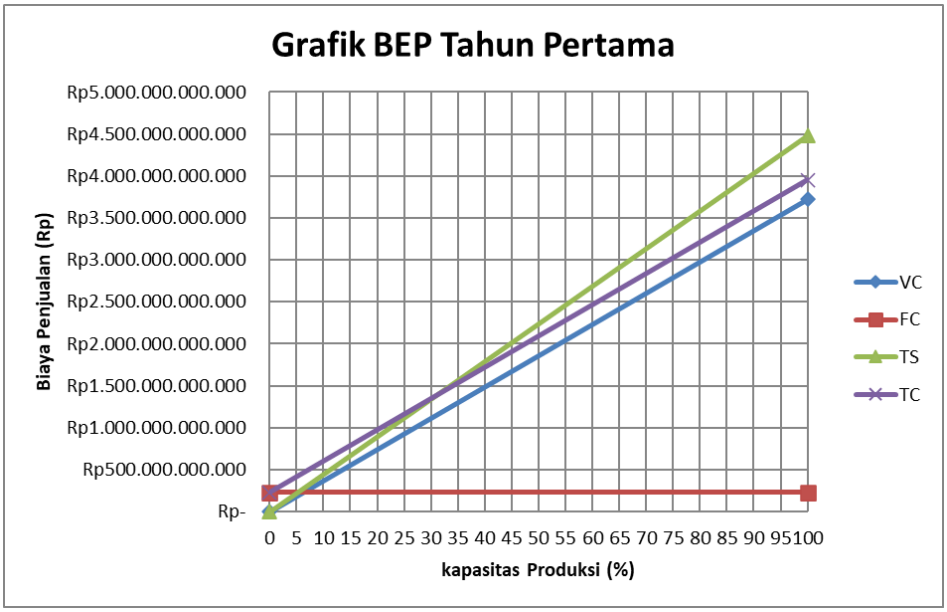
Kebutuhan utilitas total pada rancangan pabrik HMD ini adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Kebutuhan Utilitas Total Pabrik

Kebutuhan	Jumlah
Air umpan boiler	1420.309 kg/jam
Make up boiler	142.031 kg/jam
Air pendingin	210711.961 kg/jam
Air domestik	585.137 kg/jam
Daya proses	526.257 HP/jam
Daya penunjang	8.102 HP/jam
Bahan Bakar	5474.734 kg/hari

Analisa Ekonomi

Analisa ekonomi perlu dilakukan agar mengetahui berapa besar keuntungan yang didapatkan oleh pabrik sehingga bisa dikategorikan layak atau tidak layak untuk didirikan nantinya. *Break Even Point* (BEP) yang didapat dalam analisa ekonomi pabrik HMD sebesar 30.27% pada tahun pertama. Dimana BEP merupakan titik ketika pendapatan yang diperoleh berada pada posisi yang sama dengan modal, pada keadaan ini perusahaan tidak untuk dan tidak rugi. *Internal Rate of Return* (IRR) yang didapat dalam analisa ekonomi pabrik HMD sebesar 74.88%. IRR merupakan indikator tingkat efisiensi dari suatu investasi atau tingkat pengembalian tahunan dari suatu investasi. Nilai IRR pabrik HMD sebesar 74.88% ini menunjukkan tingkat perkembangannya adalah 74.88%. *Minimum Payback Period* (MPP) yang didapat dalam analisa ekonomi pabrik HMD adalah 1 tahun 11 bulan. MPP merupakan waktu yang dibutuhkan untuk suatu modal investasi dapat kembali secara utuh [5].



Gambar 1. Gambar BEP tahun pertama

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisa diatas pada prarancangan pabrik *Hexamethylenediamine* diambil kapasitas produksi sebesar 45.000 ton/tahun. Perusahaan didirikan dalam bentuk PT (Perseroan Terbatas) dengan estimasi kebutuhan total tenaga kerja sebanyak 161 orang. Dari analisa ekonomi didapat nilai BEP sebesar 30.27%, dengan nilai IRR sebagai indikator investasi sebesar 74.88% menunjukkan investasi pada pendirian pabrik HMD sangat potensial. Kemudian periode pengembalian modal yang tidak terlalu lama yaitu 1 tahun 11 bulan membuat pabrik HMD layak untuk didirikan.

Daftar Pustaka

[1] E. Munandar and S. N. Aisyah, "Prarancangan Pabrik Hexamethylenediamine dari Adiponitril dengan Proses Hidrogenasi Kapasitas Produksi 85.000 Ton/Tahun," *Jurnal Tugas Akhir Teknik Kimia*, pp. 124-128, 2021.

[2] BPS, "Badan Pusat Statistik," [Online]. Available: https://www.bps.go.id. [Accessed 8 April 2022].

[3] N. Moraitakis, "Supply Chain-Based Category Stategis for Global Supply Networks," Lohmar, Josef Eul Verlag, 2017.

[4] Tommaso, Luciano and Alberto, "WO 2012/139652 AI". United States 2012.

[5] Suryadiansyah, Pengantar Ekonomi Teknik, Serpong: Institut Teknologi Indonesia, 2021.