

## PRARANCANGAN PABRIK HEXAMETHYLENEDIAMINE DARI ADIPONITRIL DENGAN PROSES HIDROGENASI KAPASITAS PRODUKSI 85.000 TON/TAHUN

Eris Munandar<sup>\*1</sup>, Syarifah Nur Aisyah<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi S-1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat  
Jln A. Yani KM 35, Kampus ULM Banjarbaru, Kalimantan Selatan

\*Corresponding Author: [munandareris378@gmail.com](mailto:munandareris378@gmail.com)

### Abstrak

Hexamethylenediamine ( $C_6H_{16}N_2$ ) merupakan padatan tidak berwarna yang merupakan bagian penting dalam industri. Produk ini adalah bahan baku utama pada pabrik pembuatan nylon-66 yang digunakan secara luas untuk pembuatan nylon tire cord (kain ban), tekstil dan plastik. Perancangan pabrik Hexamethylenediamine ini direncanakan akan didirikan pada tahun 2025 dengan kapasitas 85.000 ton/tahun.

Hexamethylenediamine dibuat dari bahan baku adiponitril dengan proses hidrogenasi, menggunakan katalis cobalt. Reaksi berlangsung dalam fixed bed reactor multytube pada temperature  $150^\circ C$  dan tekanan 340 atm. Pemurnian produk dilakukan dalam 2 buah menara distilasi, menara distilasi pertama akan memisahkan amonia dan menara distilasi kedua akan memisahkan hexamethylenediamine dengan adiponitril yang tidak terkonversi. Setelah itu produk hexamethylenediamine dengan bantuan pompa dialirkan melewati cooler untuk diturunkan temperaturnya sampai  $35^\circ C$ . Produk akhir berupa hexamethylenediamine yang selanjutnya disimpan pada tangki penyimpanan produk. Yield dari proses ini diperkirakan mencapai 99%. Pemenuhan air diperoleh dari Sungai Nerakat sebanyak 693.693.897,761 kg/jam. Sedangkan kebutuhan listrik untuk operasional pabrik sebesar 9,892,0427 kWatt. Bahan bakar untuk generator tersebut terpakai diesel oil sebanyak 7759,5012 liter/jam.

Nilai Return on Investment (ROI) sesudah pajak untuk pabrik ini adalah sebesar 23,89 % dan waktu pengembalian modal (POT) sesudah pajak adalah 2,8 tahun. Sedangkan kapasitas Break Even Point (BEP) adalah sebesar 50 %, dan kapasitas Shut Down Point (SDP) adalah 26,2%. Berdasarkan ilai-nilai tersebut, pabrik ini layak untuk didirikan dan dapat diteruskan ke tahap perencanaan pabrik

**Kata kunci:** adiponitril, cobalt, hexamethylenediamine, hidrogenasi.

### 1. Pendahuluan

Hexamethylenediamine merupakan bahan utama pembuatan nylon-66. Secara cepat nylon-66 mulai dikenal penggunaannya untuk bahan tekstil dan untuk cetakan plastik. Nylon-66 di Indonesia saat ini banyak diperlukan untuk pemnuatan nylon tire cord (kain ban). Dengan berkembangnya produksi ban kendaraan, penggunaan nylon tire cord meningkat. Pada tahun 2018, nilai pasar nylon-66 diperkirakan lebih dari US \$3 miliar, nilai ini diperkirakan akan terus meningkat pada tahun 2026. Hal ini membuka peluang investas pada industri yang bahan bakunya berupa nylon-66 dan lebih besar lagi membuka peluang investasi pada industri hexamethylenediamine. Bahan baku yang diperlukan untuk membuat hexamethylenediamine adalah adiponitril dan hidrogen dengan proses hidrogenasi yang mana bahan baku adiponitril diperoleh dengan mengimpor dari Haihan Industry Co, China. Sedangkan bahan lainnya yaitu hidrogen berasal dari PT. Pupuk Kalimantan Timur, Bontang Kalimantan Timur. Berdasarkan data Badan

Pusat Statistik (BPS) jumlah hexamethylenediamine yang di impor pada tahun 2013 hingga 2018 dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut.

**Tabel 1.** Data Import hexamethylenediamine di Indonesia

Tahun	Jumlah
2013	1023,161
2014	139,667
2015	1149,945
2016	903,347
2017	1171,317
2018	1555,571

Berdasarkan data di atas dapat diperkirakan jumlah kebutuhan hexamethylenediamine pada tahun 2025 yang didapatkan pada perhitungan *discounted method* dengan rumus (Ulrich,1984):

$$F = P(1+i)^n$$

Keterangan :

F = Nilai pada tahun ke-n

P = Besarnya data pada tahun sekarang (ton/tahun)

i = Kenaikan data rata-rata

n = Selisih tahun (tahun ke-n)

Hasil perhitungan *discounted method*, diperoleh peluang kapasitas produksi *hexamethylenediamine* di Indonesia pada tahun 2025 yaitu sebesar 85.000 ton/tahun.

## 2. Deskripsi Proses

### 2.1 Jenis-Jenis Proses

Proses untuk membuat *hexamethylenediamine* berdasarkan pada penjelasan diatas, dari 3 pilihan proses yaitu yang pertama proses hidrogenasi dari adiponitrile, yang kedua proses aminase dengan bahan baku 1,6-Hexanediol dan yang ketiga proses aminase dengan bahan baku *caprolactam* dapat dilihat pada Tabel 2 sebagai berikut.

**Tabel 2** Perbandingan Jenis Proses Pembuatan *Hexamethylenediamine*

Kriteria	Proses		
	Hidrogenasi	1,6-hexanediol (Aminasi)	<i>Caprolactam</i> (Aminasi)
Suhu Reaksi	150 °C	200-250 °C	Reaksi lebih rumit
Tekanan Operasi	340 atm	200 atm	-
Fase Reaksi	gas		
Yield	99%	50%	93
Konversi	95-99%	90-95%	93
Dampak Lingkungan	Produk samping air hampr tidak ada ( <i>treatment</i> relative mudah)	Produk samping air	<i>Impurities</i> ( <i>treatment</i> relative sulit)

Menurut Tabel 2, bahwa di pilihlah proses pembuatan *hexamethylenediamine* yaitu dengan proses hidrogenasi bertekanan tinggi, hal tersebut disebabkan karena memiliki keunggulan antara lain:

a. Pada proses tekanan rendah dibutuhkan jumlah katalis dan alkali yang besar, sehingga selain mempertinggi biaya juga dapat meningkatkan *impurities*.

b. Jumlah *impurities* pada hidrogenasi tekanan tinggi lebih kecil dari proses tekanan rendah.

### 2.1 Pembuatan *Hexamethylenediamine* Dengan Proses Hidrogenasi Tekanan Tinggi

Proses pembuatan *hexamethylenediamine* dilakukan dalam 3 tahapan proses yaitu:

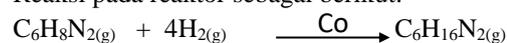
#### 1. Tahapan Persiapan Bahan Baku

Larutan adiponitril yang disimpan pada tangki bahan baku pada kondisi suhu  $T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan  $P = 1,12\text{ atm}$  dengan bantuan pompa dialirkan ke *vaporizer* untuk diuapkan pada kondisi temperatur  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan  $1,12\text{ atm}$ . Sebelum diumpankan ke Reaktor, gas adiponitril dialirkan ke *compressor* terlebih dahulu untuk dinaikkan tekanannya menjadi  $340\text{ atm}$ . *Compressor* yang digunakan adalah *multistage centrifugal compressor* dengan jumlah *stage* sebanyak 4 *stage*. Temperatur gas adiponitril keluar *compressor* pada  $550,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  selanjutnya dialirkan menuju *cooler* untuk diturunkan temperaturnya menjadi  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  sebelum dimasukkan ke reaktor. Bahan baku gas hidrogen selanjutnya dinaikkan juga tekanannya menggunakan *compressor* menjadi  $340\text{ atm}$  sebelum diumpankan ke reaktor. *Compressor* yang digunakan adalah *multistage centrifugal compressor* dengan jumlah *stage* sebanyak dua buah. Gas hidrogen keluar *compressor* pada temperatur  $68,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan tekanan  $340\text{ atm}$  selanjutnya dilewatkan pada *heater* untuk dipanaskan sampai temperaturnya  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  sebelum masuk reaktor. Bahan baku gas ammonia selanjutnya dinaikkan juga tekanannya dinaikkan sampai  $340\text{ atm}$  menggunakan *compressor* sebelum diumpankan ke reaktor. *Compressor* yang digunakan adalah *multistage centrifugal compressor* dengan jumlah *stage* sebanyak tiga *stage*. Gas ammonia keluar *compressor* pada temperatur  $114,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan tekanan  $340\text{ atm}$  selanjutnya dinaikkan temperaturnya sampai  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  sebelum dialirkan ke reaktor.

#### 2. Tahap Reaksi

Reaksi fase gas antara adiponitril dan Hidrogen membentuk *hexamethylenediamine* dijalankan dalam reaktor tipe *fixed bed reactor multytube heat exchanger* pada kondisi temperatur isothermal  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan tekanan  $340\text{ atm}$  dengan bantuan katalis *cobalt*. Sebanyak 99% reaktan terkonversi membentuk produk dengan perbandingan mol umpan adiponitril dan hidrogen sebesar  $1 : 4$ .

Reaksi pada reaktor sebagai berikut:



Reaksi pembentukan produk *hexamethylenediamine* bersifat eksotermis sehingga dibutuhkan air sebagai pendingin yang dilewatkan pada bagian *shell* reaktor.



### 3. Tahapan Pemurnian dan Pemisahan

Gas produk reaktor yang terdiri dari hidrogen, ammonia, air, adiponitril dan *hexamethylenediamine* selanjutnya dialirkan ke *expander* untuk diturunkan tekanannya sampai 9,18 atm sebelum diumpankan ke *flash drum*. *Expander* dioperasikan pada kondisi adibatis, sehingga dengan adanya ekspansi tekanan dari 340 atm menjadi 9,18 atm maka gas produk reaktor mengalami penurunan temperatur sampai 146 °C. Gas produk reaktor keluar *expander* pada temperatur 146 °C dan tekanan 9,18 atm, dilewatkan pada *cooler* untuk diturunkan temperturnya sampai 117 °C sebelum diumpankan ke *flash drum*.

*Flash drum* digunakan untuk memisahkan produk *hexamethylenediamine* dari campuran gas sisa reaksi. Produk fase cair *flash drum* yang terdiri dari ammonia, air, *hexamethylenediamine* dan adiponitril pada temperatur 117 °C dan tekanan 9,18 atm, selanjutnya dilewatkan pada *cooler* dengan menggunakan pompa melalui *expander* untuk diturunkan tekanannya sampai 3,45 atm, selanjutnya dengan menggunakan *cooler* produk keluar *expander* didinginkan sampai 66,20 °C sebelum diumpankan ke menara distilasi I.

Pada menara distilasi I ini, produk *hexamethylenediamine* dipisahkan dari campuran ammonia dan air. Hasil bawah kolom berupa produk larutan *hexamethylenediamine*, adiponitril dengan air pada tekanan 1,2 atm dan temperatur 211,16 °C, kemudian diumpankan ke menara distilasi II. Pada menara distilasi II produk *hexamethylenediamine* dipisahkan dari campuran adiponitril yang tidak terkonversi menjadi produk. Hasil atas kolom berupa produk larutan *hexamethylenediamine* dengan kemurnian 99% pada tekanan 1,5 atm dan temperature 220,6 °C. Dengan bantuan pompa dialirkan melewati *cooler* untuk diturunkan temperturnya sampai 35 °C sebelum ditampung pada tangki produk *hexamethylenediamine*.

### 3. Utilitas

Sumber air yang digunakan pada pabrik *Hexamethylenediamine* yaitu diperoleh dari Sungai Nyerakat Bontang. Air sungai yang dibutuhkan yaitu sebesar 693.897,761 kg/jam. Kebutuhan listrik pabrik yang bersumber dari PLN setempat dengan menggunakan 2 buah cadangan generator yang membutuhkan bahan bakar berupa solar sebanyak 23,035 liter/jam. Kebutuhan total utilitas yang diperlukan untuk operasi pada rancangan industri pabrik *hexamethylenediamine* terdapat pada tabel dibawah sebagai berikut.

**Tabel 3.** Kebutuhan Utilitas Pabrik Magnesium Sulfat Heptahidrat

Kebutuhan	Jumlah
Steam	117.879,665 kg/jam
Cooling Water	573.874,111 kg/jam
Listrik	1.707,747 kW
Bahan Bakar	6561,335 L/jam

### 4. Analisa Ekonomi

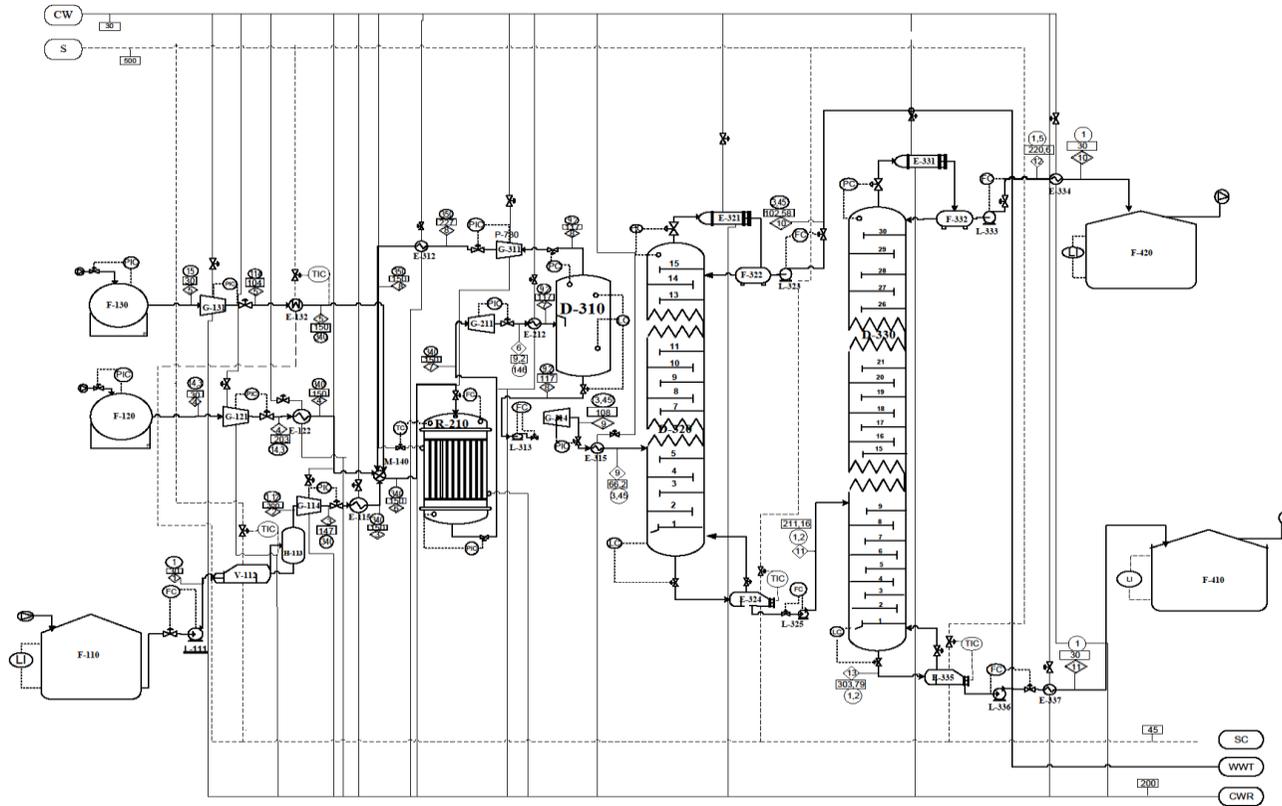
Analisa ekonomi perlu dilakukan agar mengetahui berapa besar keuntungan yang didapatkan oleh pabrik ini sehingga bisa dikategorikan tidak layak atau layaknya untuk didirikan nantinya. Berikut dapat dilihat analisis ekonomi dari pembuatan pabrik *hexamethylenediamine* pada **Tabel 4**.

**Tabel 4.** Uji Analisa Ekonomi

Analisa	Nilai	Batasan	Keterangan
ROI	25,8%	Min. 11%	Layak
POT	2,8	Max. 5 tahun	Layak
BEP	50%	40-60%	Layak
SDP	26%	20-40%	Layak



## PRARANCANGAN PABRIK *HEXAMETHYLENEDIAMINE* DARI ADIPONITRIL DENGAN PROSES HIDROGENASI KAPASITAS 85000 TON/TAHUN



Komponen	Neraca Massa (kg/jam)												
	Aliran												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$C_6H_{10}N_2$	12633.6750	12633.6750	10106.9400	-	-	10106.9400	10106.9458	101.0717	0.0058	0.0000	101.0659	0.0000	101.0558
$H_2O$	12.6463	12.6463	10.1171	-	-	11.8092	12.0698	12.0698	0.2605	9.4474	2.3618	2.3618	0.0000
$H_2$	-	-	-	753.6219	-	753.6219	760.6431	7.5191	7.5191	-	-	-	-
$CH_4$	-	-	-	0.7544	-	0.7544	1.5087	1.5087	1.5087	-	-	-	-
$NH_3$	-	-	-	-	318.3367	318.3367	482.7415	482.7415	263.1745	219.5670	0.0000	-	-
$C_6H_{12}N_2$	-	-	-	-	-	-	11.3968	10752.2029	11.3968	10.7408	10730.0653	10729.9580	101.1631
<b>Total</b>	<b>12646.3213</b>	<b>12646.3213</b>	<b>10117.0571</b>	<b>754.3762</b>	<b>318.3367</b>	<b>11191.4622</b>	<b>11375.3057</b>	<b>11357.1137</b>	<b>283.8655</b>	<b>239.7552</b>	<b>10833.4991</b>	<b>10732.3199</b>	<b>202.2189</b>

KETERANGAN	
Aliran Proses	Aliran Bypass
(S) Steam	◇ Nomor Aliran
(CWR) Cooling Water Return	□ Temperature (°C)
(CW) Cooling Water	○ Tekanan (atm)
(SC) Steam Condensat	⊖ Bahan Baku
(WW) Waste Water Treatment	⊕ Produk
(FC) Flow Control	(PC) Pressure Control
(TIC) Temperature Indicator Control	(PIC) Pressure Indicator Control
(LIC) Level Indicator Control	(LI) Level Indicator

38	F-420	TANGKI PRODUK	1
37	F-410	TANGKI PRODUK SAMPING	1
36	E-337	COOLER-06	1
35	E-336	POMPA REBOILER-02	1
34	E-335	REBOILER-02	1
33	E-334	COOLER-05	1
32	L-333	POMPA AKUMULATOR-02	1
31	F-332	AKUMULATOR-02	1
30	E-331	KONDENSOR-02	1
29	D-330	MENARA DISTILASI-02	1
28	L-325	POMPA REBOILER-01	1
27	E-324	REBOILER-01	1
26	L-323	POMPA AKUMULATOR-01	1
25	E-322	AKUMULATOR-01	1
24	E-321	KONDENSOR-01	1
23	D-320	MENARA DISTILASI-01	1
22	E-315	COOLER-01	1
21	G-314	EXPANDER-02	1
20	L-313	POMPA FLASH DRUM	1
19	E-312	COOLER-02	1
18	G-311	KOMPRESOR-01	3
17	D-310	FLASH DRUM	1
16	E-223	COOLER-03	1
15	G-211	EXPANDER-01	1
14	R-210	REAKTOR FASEDAMPULI TUBE	1
13	M-140	MIXING POINT	1
12	E-132	HEATER-01	1
11	G-131	KOMPRESOR-03	3
10	F-130	TANGKI AMMONIA	1
9	E-122	COOLER-02	1
8	G-121	KOMPRESOR-02	2
7	F-120	TANGKI HIDROGEN	1
6	E-115	COOLER-01	1
5	G-114	KOMPRESOR-01	4
4	H-113	SEPARATOR	1
3	F-112	ADSORBER	1
2	L-111	POMPA ADIPONITRIL	1
1	F-110	TANGKI ADIPONITRIL	1
NO	KODE	NAMA ALAT	Jumlah

ERIS MUNANDAR (0101081421008)  
SYARFAH NUR AISYAH (01010814210017)

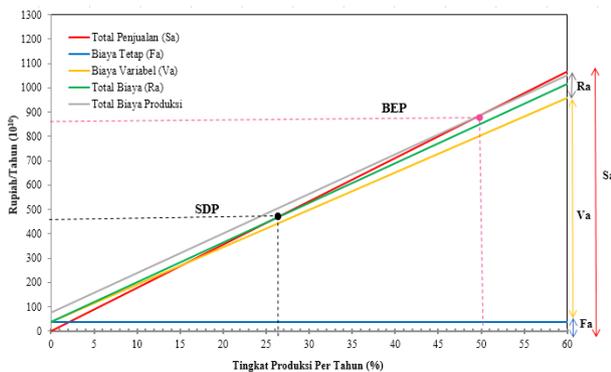
Dosen Pembimbing:  
Dr. ABUBAKAR TUHLOULA, S.T., MT  
NIP : 19750820 200501 1 001

PRARANCANGAN PABRIK *HEXAMETHYLENEDIAMINE*  
DARI ADIPONITRIL DENGAN PROSES HIDROGENASI N  
KAPASITAS PRODUKSI 85.000 TON/TAHUN



PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT  
BANBARU  
2020

ROI (*Return on Investment*) yaitu merupakan tingkatan laba yang dihasilkan dari suatu investasi yang dikeluarkan dibagi dengan pendapatan. POT (*Pay Out Time*) yaitu *payback period* atau disebut dengan waktu pengembalian uang investasi atau modal yang dihasilkan dari keuntungan yang telah dicapai. Titik yang menunjukkan penghasilan sama dan tingkatan biaya disebut dengan BEP (*Break Event Point*) dan titik yang menentukan pada saat aktivitas suatu produksi diberhentikan disebut SDP (*Shut Down Point*). Penyebab terjadinya SDP biasanya terjadi *variable cost* yang terlalu tinggi karena suatu aktivitas atau produksinya tidak menghasilkan keuntungan. Dapat dilihat gambar grafik dari analisa kelayakan ekonomi pabrik *Hexamethylenediamine* sebagai berikut:



**Gambar 2.** Grafik BEP dan SDP

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil analisa diatas pada pabrik pembuat *hexamethylenediamine* dari hasil reaksi adiponitrile dan hidrogen dengan proses hidrogenasi berkapasitas 85.000 ton/tahun. Maka diambil

kesimpulan bahwa pabrik akan didirikan di Bontang Kalimantan Timur pada tahun 2025 dengan kapasitas 85.000 ton/tahun. Perusahaan dengan bentuk hukum PT atau Perseroan Terbatas sedangkan bentuk organisasi berupa garis (*lines*) dan *staff*. Adapun total tenaga kerja yang dibutuhkan sebesar 146 orang. Dari evaluasi ekonomi didapatkan nilai ROI yaitu sebesar 25,8% dan POT sebesar 2,8 tahun. Kemudian diperoleh BEP sebesar 50% dan SDP sebesar 26% sehingga dapat disimpulkan dari hasil analisa yang didapat bahwa pabrik *Hexamethylenediamine* ini layak untuk didirikan di Indonesia.

## Daftar Pustaka

BPS (Badan Pusat Stastitik). (2013-2019) Statitik Indonesia

McKetta Jr, J. J. (1987): *Encyclopedia of Chemical Processing and Design: Volume 26 - Heat-Transfer Estimation and Shortcut Methods. 8. to Hydrogen*. CRC Press.

Ulrich, G.G. 1984. "A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics". John Willey and Sons, New York.

Smith, J.M., and Van Ness, H.C., 2005, "Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics", 7<sup>rd</sup>. Ed. Mc. Graw Hill, New York.

Wahuyuddin. (2016): *Proses Pembuatan Hexamethylenediamine dari Adiponitril dengan Proses Hidrogenasi*.

