

PRARANCANGAN PABRIK NITROBENZEN MENGUNAKAN PROSES NITRASI BENZEN DAN KATALIS ASAM SULFAT DENGAN KAPASITAS 20.000 TON/TAHUN

Nor Aldina, Hesti Kesumadewi*

¹Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat
Jalan A. Yani KM 35, Kampus Unlam Banjarbaru, Kalimantan Selatan

*Corresponding Author: kesumadewihesti@gmail.com

ABSTRAK

Nitrobenzen memiliki nama lain yaitu *oil of mirbane*, nitrobenzol dengan rumus molekul $C_6H_5NO_2$ biasanya digunakan sebagai bahan utama pembuatan anilin, pelarut cat, *para-aminophenol*, dan *nigrosine dyes*. Pabrik ini direncanakan beroperasi selama 330 hari/tahun dengan kapasitas produk nitrobenzen sebesar 20.000 ton/tahun. Bahan baku utama yang diperlukan adalah benzen yang diperoleh dari *Qingdao highly chemical new materials Co., Ltd, China*. Pabrik akan didirikan di Cilacap, provinsi Jawa Tengah dimana lokasi pabrik dekat dengan Sungai Serayu, sehingga sumber air untuk unit utilitas berasal dari sungai tersebut.

Proses yang digunakan untuk pembuatan nitrobenzen adalah nitrasi benzen dengan asam nitrat dan bantuan katalis asam sulfat, pada tekanan 1 atm dan suhu 50 °C, dimana reaktor yang digunakan adalah Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB) dan reaksi bersifat eksotermis (mengeluarkan panas). Produk yang keluar dari reaktor selanjutnya dialirkan menuju *neutralizer*. Selanjutnya produk keluaran *neutralizer* dipisahkan antara fase berat dan ringan dengan *dekanter*. Lapisan bawah (fase berat) berupa campuran nitrobenzen dan natrium sulfat dipisahkan dengan *filter press* Produk nitrobenzen kemudian disimpan dalam tangki penyimpanan., sedangkan hasil atas *dekanter*, dan *cake* dari *filter press* dialirkan ke UPL.

Hasil analisa ekonomi memberikan hasil investasi modal total (TCI) adalah sebesar Rp 1.080.844.903.298,15 dan diperoleh hasil penjualan yaitu sebesar Rp 3.857.999.961.420,00. Selain itu diperoleh juga *Return of Investment (ROI)* sebelum pajak sebesar 77 % dan *Return of Investment (ROI)* sesudah pajak sebesar 50 %. *Pay Out Time (POT)* sebelum pajak yaitu 1,15 tahun dan *Pay Out Time (POT)* sesudah pajak sebesar 1,66 tahun. Sehingga diperoleh *Break Event Point (BEP)* sebesar 46,24% dan *Shut down point (SDP)* sebesar 37,16%. Berdasarkan pertimbangan hasil evaluasi tersebut, maka pabrik nitrobenzen dengan kapasitas 20.000 ton/tahun ini layak untuk dikaji lebih lanjut.

Kata kunci : Nitrobenzen, benzen, asam nitrat, asam sulfat, RATB

1. Pendahuluan

Kebutuhan impor produk maupun bahan baku kimia di Indonesia masih begitu tinggi. Sehingga sektor industri kimia di Indonesia baik industri yang menghasilkan produk jadi maupun setengah jadi perlu lebih dikembangkan lagi. Salah satu diantaranya yaitu nitrobenzen. Nitrobenzen dikenal sebagai senyawa organik yang memiliki nama lain *oil of mirbane* dan memiliki rumus kimia $C_6H_5NO_2$. Bahan ini sangat dibutuhkan sebagai *raw material* dalam industri anilin, bidang farmasi sebagai *drugs*, bahan peledak, pelarut dalam industri cat dan lain sebagainya. Nitrobenzen juga digunakan untuk memproduksi berbagai produk lain seperti *para-aminophenol* (PAP) dan *nigrosine dyes* (Dugal, 2005).

Nitrobenzen secara umum dibuat dengan proses reaksi kontinyu yang melibatkan asam nitrat dan benzen dalam *jet impingement reactors*. Karena dua fase dibentuk dalam reaksi campuran dan reaktan didistribusikan diantara keduanya, laju reaksi dikendalikan oleh perpindahan massa seperti kinetika kimia. Lama reaksi tergantung pada beberapa parameter, seperti konsentrasi asam sulfat, energi campuran (*droplet size*), suhu, dan tingkat konversi (Bingham and McGowan, 2012, Dugal, 2005).

Pendirian pabrik nitrobenzen di Indonesia diharapkan akan memberikan dampak positif bagi pertumbuhan perindustrian kimia yaitu mendorong pembangunan pabrik lainnya yang menggunakan bahan baku nitrobenzen sebagai bahan baku utama



prosesnya, mengurangi nilai impor dan dapat memberi keuntungan finansial dengan mengurangi defisit, serta menciptakan lapangan kerja baru. Jumlah impor nitrobenzen di Indonesia pada tahun 2012 sampai 2016 (Statistik, 2017):

Tabel 1 Data Impor Nitrobenzen di Indonesia

No.	Tahun	Jumlah (ton)	Pertumbuhan (%)
1.	2012	212.959,13	0
2.	2013	213.240,53	0,131964125
3.	2014	162.021,29	-31,61266272
4.	2015	179.786,06	9,881061523
5.	2016	216.514,51	16,96350643
Rata-rata			-0,927226129

Jumlah kebutuhan nitrobenzen pada tahun 2022 dapat dihitung dari perhitungan *discounted method* dengan rumus:

$$m_5 = P(1+i)^n$$

$$m_3 = (m_4 + m_5) - (m_1 + m_2)$$

Berdasarkan hasil perhitungan dari persamaan tersebut, peluang kapasitas pabrik nitrobenzen yang akan didirikan pada tahun 2022 yaitu 200.000 ton/tahun. Kapasitas produksi pabrik nitrobenzen yang akan didirikan yaitu 10 % dari kebutuhan yang diproduksi yaitu sebesar 20.000 ton/tahun untuk mencukupi kebutuhan dalam negeri.

Pabrik nitrobenzen ini direncanakan akan dibangun di Jl. MT. Haryono, Lomanis, Kabupaten Cilacap, Karangtalun, Cilacap, Jawa Tengah yang berada di kawasan industri wijayakusuma. Adapun bahan baku yang digunakan untuk pengolahan nitrobenzen berasal dari (Anonim¹, 2017; Anonim², 2017; Anonim³, 2017; Anonim⁴, 2011):

Tabel 2 Ketersediaan Bahan Baku

No.	Bahan Baku	Pabrik/Produsen	Asal
1.	Benzen	Qingdao highly chemical new materials Co., Ltd	China
2.	Asam Nitrat	PT. Multi Nitrotama Kimia	Cikampek
3.	Asam Sulfat	PT. Petrokimia Gresik	Gresik
4.	Natrium Hidroksida	PT. Tjiwi Kimia	Sidoarjo

2. Deskripsi Proses

Metode yang dapat digunakan untuk memproduksi nitrobenzen yaitu dengan proses nitrasi benzen menggunakan asam nitrat, nitrasi benzen menggunakan asam campuran, dan nitrasi benzen dari asam nitrat, nitrasi benzen menggunakan asam campuran, dan nitrasi benzen dari asam nitrat dengan katalis ZSM-5 Zeolit. Karakteristik ketiga proses tersebut (Ross, 1956; Agustriyanto et al., 2017; Kuznetsova et al., 1998):

Tabel 3 Karakteristik Jenis-Jenis Proses Pengolahan Nitrobenzen

Pembanding	Nitrasi benzen dengan pure HNO ₃	Nitrasi benzen dari HNO ₃ dengan katalis H ₂ SO ₄	Nitrasi benzen dari HNO ₃ dengan katalis ZSM-5 zeolit
Yield	83 %	95,3 %	45 %
Kondisi Operasi	110-120 °C; 1 atm	50 °C; 1 atm	170 °C; 1 atm
Waktu reaksi	74 jam	30 menit	3 jam
Kelemahan	<ul style="list-style-type: none"> • Kekuatan nitrasi lemah • Pilihan substrat terbatas • Masalah membuang an dan pengolahan limbah HNO₃ 	<ul style="list-style-type: none"> • Masalah membuang an asam campuran. 	<ul style="list-style-type: none"> • Yield yang dihasilkan rendah. • Terbentuk CO, NO, dan nitrophenols, menghasilkan yield CO₂ sebesar 1 %.

Berdasarkan uraian di atas maka proses yang dipilih adalah nitrasi benzen dari asam nitrat dengan katalis asam sulfat.

Tinjauan secara termodinamika bertujuan untuk mengetahui sifat reaksi (eksotermis/endotermis) dan arah reaksi (*reversible/irreversible*). Data harga ΔH_f dan ΔG_f (Dean, 1999, & Smith et al., 2005):

Tabel 4 Nilai ΔH_f dan ΔG_f Setiap Komponen

Komponen	ΔH_f (kJ/mol)	ΔG_f (kJ/mol)
Benzen	49,00	124,40
Asam Nitrat	-174,10	-80,70
Nitrobenzen	12,50	146,20
Air	-285,83	-237,14

a. Panas reaksi standar

$$\begin{aligned} \Delta H_{f,298} &= \sum \Delta H_{f,298} \text{ produk} - \sum \Delta H_{f,298} \text{ reaktan} \\ &= \{\Delta H_{f,298} (\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) + \Delta H_{f,298} (\text{H}_2\text{O})\} \\ &\quad - \{\Delta H_{f,298} (\text{C}_6\text{H}_6) + \Delta H_{f,298} (\text{HNO}_3)\} \\ &= (12,50 - 285,83) - (49,00 - 174,10) \\ &= -148,23 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$



Karena ΔH_f bernilai negatif, maka reaksi pembentukan nitrobenzen merupakan reaksi eksotermis.

b. Konstanta keseimbangan K pada keadaan standar

$$\begin{aligned}\Delta G_{298} &= \Sigma \Delta G_{298} \text{ produk} - \Sigma \Delta G_{298} \text{ reaktan} \\ &= \{ \Delta G_{298} (\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) + \Delta G_{298} (\text{H}_2\text{O}) \} - \\ &\quad \{ \Delta G_{298} (\text{C}_6\text{H}_6) + \Delta G_{298} (\text{HNO}_3) \} \\ &= (146,20 - 237,14) - (124,40 - 80,70) \\ &= -134,64 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Karena ΔG bernilai negatif, maka reaksi pembentukan nitrobenzen merupakan reaksi yang berjalan spontan.

Ditinjau dari kinetika reaksi, maka didapatkan persamaan berikut (Agustriyanto, 2017):

$$E_a = (-283,88 S + 263,37) \times 1000$$

$$k_o = \exp [166,64 S^2 - 254,36 S + 113,79]$$

Dengan menggunakan persamaan Arrhenius, maka didapatkan rumus sebagai berikut:

$$k = k_o \exp \frac{-E_a}{RT}$$

Dimana:

S = Fraksi berat asam sulfat

E_a = Energi aktivasi (J/mol)

k_o = pre-exponential factor ($\text{m}^3/\text{mol.s}$)

k = reaction rate constant

R = konstanta gas = 8,314 J/mol.K

T = Temperatur (K)

Pembuatan nitrobenzen dari benzen dan asam campuran dilakukan dalam 3 tahap, yaitu:

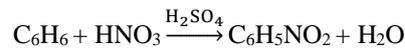
1. Persiapan Bahan Baku

Asam nitrat (99%) dan asam sulfat (98%) dari tangki penyimpanan dicampur terlebih dahulu ke dalam *mixer*. Hasil keluaran *mixer*, berupa asam campuran dinaikkan suhunya dari 30 °C menjadi 50 °C menggunakan *heater*. Benzen (99%) dari tangki penyimpanan dipanaskan dari 30 °C menjadi 50 °C dengan *heater*.

2. Tahap Pembentukan Produk

Pembentukan nitrobenzen dengan proses nitrasi benzen dan katalis asam sulfat terjadi dalam Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB) dengan kondisi operasi pada suhu 50 °C, tekanan 1 atm, dan waktu reaksi selama 30 menit (Agustriyanto, 2017). Agar reaksi tetap berlangsung secara eksotermis, maka diperlukan pendingin *coil* agar

proses berjalan secara isothermal. Reaksi yang terjadi:



Reaksi yang terjadi menghasilkan konversi 95,32%. Produk keluaran reaktor berupa nitrobenzen, air, dan sisa reaktan yang berupa benzen dan asam campuran diturunkan suhunya menjadi dari 50 °C menjadi 30 °C dengan *cooler*.

3. Tahap Pemurnian Produk

Produk keluaran reaktor diumpankan ke *neutralizer* untuk menetralkan asam nitrat dan asam sulfat dengan menggunakan natrium hidroksida (40%). Keluaran *neutralizer* berupa benzen, toluen, air, nitrobenzen, natrium nitrat, dan natrium sulfat dimasukkan ke dalam dekanter untuk memisahkan lapisan atas berupa benzen, toluen, air, nitrobenzen natrium nitrat, dan natrium sulfat, dengan lapisan bawah berupa produk nitrobenzen dan natrium sulfat. Lapisan bawah dari dekanter diumpankan ke *filter press* untuk memisahkan nitrobenzen dari natrium sulfat. Lapisan atas dekanter dikirim ke unit pengolahan limbah (UPL). Hasil dari *filter press* berupa produk nitrobenzen disimpan dalam tangki penyimpanan nitrobenzen. Hasil *cake* dari *filter press* berupa natrium sulfat dikirim ke unit pengolahan limbah (UPL).

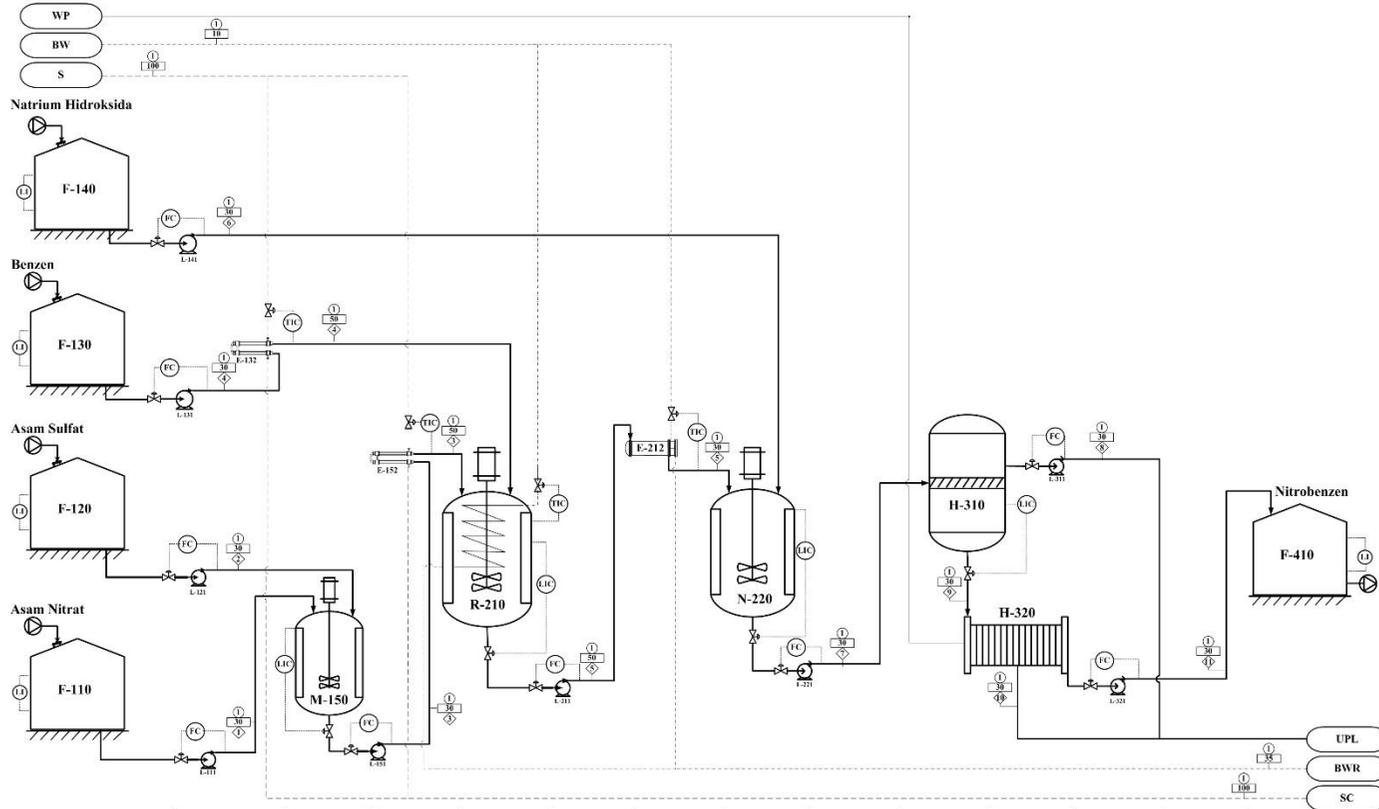
Hasil perhitungan neraca massa total reaktor pabrik nitrobenzen adalah sebagai berikut:

Tabel 5 Neraca Massa di Reaktor

Komponen	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)
	1	2	3
Benzen	-	1702,1478	79,6605
Asam nitrat	2026,3664	-	717,5057
Air	1097,9389	-	1472,1405
Toluen	-	17,1934	17,1934
Nitrobenzen	-	-	2557,1481
Asam sulfat	4376,9515	-	4376,9515
Total	7501,2569	1719,3412	9220,5998
	9220,5981		



PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM
PRARANCANGAN PABRIK NITROBENZEN MENGGUNAKAN PROSES NITRASI BENZEN DAN KATALIS
ASAM SULFAT DENGAN KAPASITAS 20.000 TON/TAHUN



Komponen	Aliran 1 Kg/jam	Aliran 2 Kg/jam	Aliran 3 Kg/jam	Aliran 4 Kg/jam	Aliran 5 Kg/jam	Aliran 6 Kg/jam	Aliran 7 Kg/jam	Aliran 8 Kg/jam	Aliran 9 Kg/jam	Aliran 10 Kg/jam	Aliran 11 Kg/jam
Benzen	-	-	2026,3664	1702,1478	79,6605	-	79,6605	79,6605	-	-	-
Asam nitrat	2026,3664	-	2026,3664	-	717,5057	-	-	-	-	-	-
Air	204,6835	893,2554	1097,9389	-	1472,1405	6038,0050	9323,2162	9323,2162	-	-	-
Toluen	-	-	-	17,1934	17,1934	-	17,1934	17,1934	-	-	-
Nitrobenzen	-	-	-	-	2557,1481	-	2557,1481	19,2058	2537,9422	12,6897	2525,2525
Asam sulfat	-	4376,9515	4376,9515	-	4376,9515	-	-	-	-	-	-
Natrium hidroksida	-	-	-	-	-	4023,3367	-	-	-	-	-
Natrium nitrat	-	-	-	-	-	-	967,8063	967,8063	-	-	-
Natrium sulfat	-	-	-	-	-	-	6338,9161	3803,8722	2535,0439	2535,0439	-
Total	2231,0499	5270,2069	7501,2869	1719,3412	9220,5998	10063,3417	19283,9406	14210,9544	6072,9862	2647,7337	2525,2525

KETERANGAN			
(S)	Steam	◇	Nomor Aliran
(SC)	Steam Condensat	□	Temperature (°C)
(BW)	Brine Water	○	Tekanan (atm)
(BWR)	Brine Water Return	⊙	Bahan Baku
(UPL)	Unit Pengelolaan Limbah	⊙	Produk
(WP)	Water Process		
(TIC)	Temperature Indicator Control	(LIC)	Level Indicator Control
(LI)	Level Indicator	(FC)	Flow Control

No	Kode	Nama Alat	Jumlah
22	F-410	Tangki Produk Nitrobenzen	2
21	L-321	Pompa Filter Press	2
20	H-320	Filter Press	1
19	L-311	Pompa Dekanter Menuju UPL	1
18	H-310	Dekanter	1
17	L-221	Pompa Netralizer	1
16	N-220	Netralizer	1
15	L-141	Pompa Natrium Hidroksida	4
14	F-140	Tangki Penyimpanan Natrium Hidroksida	4
13	E-212	Cooler	1
12	L-211	Pompa Reaktor	1
11	R-210	Reaktor Alir Tangki Berpengaduk	1
10	E-152	Heater 2	1
9	L-131	Pompa Benzen	2
8	F-130	Tangki Penyimpanan Benzen	2
7	E-152	Heater 1	1
6	L-151	Pompa Mixer	1
5	M-150	Mixer	1
4	L-121	Pompa Asam Sulfat	3
3	F-120	Tangki Penyimpanan Asam Sulfat	3
2	L-111	Pompa Asam Nitrat	2
1	F-110	Tangki Penyimpanan Asam Nitrat	2
No	Kode	Nama Alat	Jumlah

Dikerjakan Oleh :

NOR ALDINA (H11D113017)
 HESTI KESUMADEWI (H1D113040)

Dosen Pembimbing :

HESTI WIJAYANTI, S.T., M.Eng., Ph.D.
 NIP. 19800529 200501 2 003

DIAGRAM ALIR PROSES
 PRARANCANGAN PABRIK NITROBENZEN
 MENGGUNAKAN PROSES NITRASI BENZEN DAN
 KATALIS ASAM SULFAT DENGAN KAPASITAS 20.000
 TON/TAHUN

PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK KIMIA
 FAKULTAS TEKNIK
 UNIVERSITAS LAMBUANG MANGKURAT
 BANJARBARU
 2017

Gambar 1 Flow Diagram Process Nitrobenzen

3. Utilitas

Utilitas adalah unit sarana pendukung untuk memperlancar jalannya proses produksi pada suatu pabrik. Berdasarkan kebutuhannya, utilitas pada pabrik nitrobenzen meliputi unit pengolahan air, unit penyedia *steam*, unit pembangkit listrik, unit penyedia bahan bakar, dan unit pengolahan limbah. Kebutuhan air bersumber pada Sungai Serayu dengan debit 400-500 m³. Semua kebutuhan listrik untuk unit proses, unit utilitas, perumahan, penerangan, dan lainnya disuplai dari PLN. Sedangkan apabila terjadi gangguan listrik dari PLN, maka listrik akan disuplai dari generator. Kebutuhan utilitas pada pabrik nitrobenzen dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 6 Kebutuhan Utilitas pada Pabrik Nitrobenzen

Kebutuhan	Jumlah
Air Umpan Boiler	171,6740 kg/jam
Air Pendingin	8334,4631 kg/jam
Air Proses	467,4017 kg/jam
Air Sanitasi dan Keamanan	3218,3333 kg/jam
Listrik	444,8627 kW
Bahan Bakar	69,2097 L/jam

4. Analisa Ekonomi

Analisa ekonomi bertujuan untuk menganalisa dan melihat apakah pabrik nitrobenzen ini layak berdiri atau tidak. Dalam analisa ekonomi, dihitung harga peralatan yang digunakan, harga bahan, harga jual produk utama ataupun produk samping, jumlah tenaga kerja beserta jumlah gaji. Harga bahan baku dan produk dapat dilihat pada tabel berikut (Anonim⁵, 2017; Anonim⁶, 2017; Anonim⁷, 2017):

Tabel 7 Harga Bahan Baku dan Produk

Komponen	Harga (per kg)
Benzen 99%	Rp 10.800,00
Asam Nitrat 99%	Rp 28.000,00
Asam Sulfat 98%	Rp 29.0000,00
NaOH 40%	Rp 2.835,00
Nitrobenzen 100%	Rp 192.900,00

Penafsiran biaya yang diperlukan untuk membangun pabrik nitrobenzen dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 8 Biaya Pabrik Nitrobenzen

Jenis Biaya	Jumlah (Rp)
TCI	1.080.844.903.298,15
TPC	3.538.823.135.266,50
Total Penjualan	3.857.999.961.420,00
Perkiraan Laba Usaha	
- Sebelum pajak	276.855.775.267,53
- Sesudah pajak	179.956.253.923,90

Layak atau tidaknya suatu pabrik didirikan dapat dianalisa ekonominya dengan beberapa cara, diantaranya adalah:

1. *Percent Profit on Sales* (POS)

Percent profit on sales adalah cara untuk mengetahui tingkat keuntungan dari produk yang dijual.

2. *Percent Return On Investment* (ROI)

Return on investment adalah banyaknya keuntungan yang diperoleh dari tingkat investasi yang dikeluarkan.

3. *Pay Out Time* (POT),

Pay out time adalah waktu pengembalian modal yang dihasilkan. POT dilakukan untuk mengetahui berapa lama investasi akan kembali.

4. *Net Present Value* (NPV)

Net present value adalah metode yang termasuk dalam kategori *discounted cash flow* penganut nilai waktu dan *proceeds* selama total usia proyek.

5. *Interest Rate of Return* (IRR)

Interest rate of return adalah tingkat bunga tertentu dimana seluruh penerimaan dimasa yang akan datang tepat menutup seluruh jumlah pengeluaran modal.

6. *Break Even Point* (BEP)

Break Event Point adalah kondisi dimana pabrik menunjukkan biaya dan penghasilan dalam jumlah yang sama

7. *Shut Down Point* (SDP).

Shut down point adalah penentuan suatu aktivitas produksi harus dihentikan karena lebih murah untuk menutup pabrik dan membayar *Fixed Expanse* (Fa) dibandingkan harus produksi. Hasil analisa ekonomi pabrik nitrobenzen dapat dilihat pada tabel berikut:

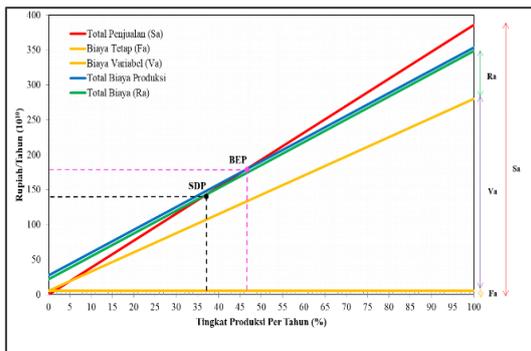




Tabel 9 Analisa Ekonomi Pabrik Nitrobenzen

Analisa Kelayakan	Nilai	Batasan	Ket
ROI	50%	Minimal 11%	Layak
POT	1,66 tahun	5 tahun	Layak
IRR	14,73%	>13%	Layak
BEP	46,24%	40-60%	Layak
SDP	37,16%	20-40%	Layak

Grafik analisa kelayakan ekonomi pabrik nitrobenzen dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2 BEP dan SDP Pabrik Nitrobenzen

5. Kesimpulan

Hasil dari perhitungan pada Prarancangan Pabrik Nitrobenzen Menggunakan Proses Nitration Benzen dan Katalis Asam Sulfat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Kapasitas pabrik direncanakan sebesar 20.000 ton/tahun.
2. Pabrik terletak di Jl. MT. Haryono, Kelurahan Lomanis, Kecamatan Cilacap, Kota Cilacap, Jawa Tengah.
3. Hasil dari analisa ekonomi, dapat disimpulkan bahwa Prarancangan Pabrik Nitrobenzen Menggunakan Proses Nitration Benzen dan Katalis Asam Sulfat Dengan Kapasitas 20.000 Ton/Tahun layak untuk dikaji lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

Agustriyanto, R., L. Sapei, G. Rosaline, and R. Setiawan. 2017. *The Effect Of Temperature On The Production Of Nitrobenzene*. IOP Conference Science: Materials Science and Engineering. 172:5.

Anonim¹. *Benzene* [Online]. Qingdao Highly Chemical New Materials Co., Ltd. Available: <http://en.highlychemical.com/>. [Accessed 6th November 2017].

Anonim². 2017. *Nitric Acid Manufacture* [Online]. PT. Multi Nitrotama Kimia. Available: <http://mnk.co.id/supply-charge/production/>. [Accessed 6th November 2017].

Anonim³. 2017. *Asam Sulfat* [Online]. PT. Petrokimia Gresik. Available: <http://www.petrokimia-gresik.com/Pupuk/Kapasitas.Produksi>. [Accessed 6th November 2017].

Anonim⁴. 2011. *Public Summary PT. Pabrik Kertas Tjiwi Kimia, Tbk* [Online]. Available: <http://www.tjiwi.co.id/index.php/products/chemical/caustic-soda-liquid>. [Accessed 6th November 2017].

Anonim⁵. 2017. *Benzene* [Online]. Available: <http://www.molbase.com/>. [Accessed 6th November 2017].

Anonim⁶. 2017. *Asam Nitrat dan Asam Sulfat* [Online]. Available: <http://www.sigmaaldrich.com/>. [Accessed 6th November 2017].

Anonim⁷. 2017. *Sodium Hidroksida* [Online]. Available: www.chemistrygreen.com. [Accessed 6th November 2017].

Bingham, E. & McGowan, W. J. 2012. *Aromatic Nitro and Amino Compounds*. Patty's Industrial Hygiene and Toxicology. Wiley Online Library: John Wiley & Sons, Inc.

Dean, J. A. 1999. *Lange's Handbook Of Chemistry*. New York: McGraw-Hill, Inc.

Dugal, M. 2005. *Nitrobenzene Manufacture Emission Test Report: E. I. Dupont De Nemours and Company*, Beaumont, Texas. United State: Environmental Protection Agency.

Kuznetsova, T. G., Ione, K. G., and Nalysheva, L. V. 1998. *Gas Phase Nitration Of Benzene by Nitric Acid On ZSM-5 Zeolit*. Elsevier Science B. V. 63:61-66.

Ross, D. V. 1956. *Nitrating Aromatic Hydrocarbons with Only Nitric Acid*. United State patent application. 245:736.

Smith, J. M., Ness H. C. V. & Abbott, M. M. 2005. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.

Statistik, B. P. 2017. *Data Impor Nitrobenzena*. www.bps.go.id. [Accessed 22nd April 2017].

