PRARANCANGAN PABRIK PENTAERITRITOL (PENT) DARI ASETALDEHIDA DAN FORMALDEHIDA DENGAN NATRIUM HIDROKSIDA SEBAGAI MEDIA ALKALI DENGAN KAPASITAS PRODUKSI 5.600 TON/TAHUN

Ahmad Cavan Difa Al Faiq[1], Boy Arief Fachri[1], Ditta Kharisma Yolanda Putri[1], Helda Wika Amini[1], M. Khoirunnafiuddin[1,*], Nyimas Adhelia Mamay Fauziah[1], Zuhriah Mumtazah[1]

[1]Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jember
Jalan Kalimantan No. 37 – Kampus Bumi Tegalboto, Jawa Timur, 68121, Indonesia
Corresponding Author: nafiuddin61@gmail.com

Abstrak

Pabrik Pentaeritritol diproduksi menggunakan bahan baku asetaldehida dan formaldehida dengan kapasitas produksi sebesar 5.600 ton/tahun. Bahan baku yang dibutuhkan yaitu asetaldehida sebanyak 261,779 kg/jam, formaldehida sebanyak 892,134 kg/jam, natrium hidroksida sebanyak 285,214 kg/jam dengan asam format sebanyak 89,161 kg/jam sebagai penetralisir sisa natrium hidroksida. Pentaeritritol diproduksi melewati proses kondensasi aldol yang menghasilkan senyawa pentaeritritos dan terjadi reaksi cannizaro yang menghasilkan senyawa pentaeritritol. Reaksi ini dilakukan pada suhu umpan 30^oC pada tekanan 1 atm menggunakan reaktor continuous stirred-tank reactor (CSTR) dan reaksi berjalan secara eksotermik sehingga suhu operasi naik dan dijaga pada suhu 60^oC. Tahap pemisahan dan pemurnian pentaeritritol dilakukan menggunakan evaporator untuk mengurangi kadar air dalam produk dan diperoleh kemurnian pentaeritritol sebesar 99%. Pabrik pentaeritritol direncanakan akan dibangun di daerah Probolinggo, Jawa Timur dengan luas area 13.066,54 m^2. Jumlah karyawan yang dibutuhkan sebanyak 284 orang. Hasil analisis ekonomi menunjukkan bahwa Pay Out Time (POT) adalah 3,16 tahun dengan laba bersih Rp. 38.420.965,641, tingkat pengembalian investasi (ROI) sebesar 29,63%. Dengan demikian, titik impas (BEP) mencapai 49,92%. Berdasarkan evaluasi ekonomi tersebut pabrik pentaeritritol dengan kapasitas produksi 5.600 ton/tahun layak untuk didirikan.

Kata Kunci: Pentaeritritol, Aldol-Cannizaro, Reaktor alir tangki berpengaduk

1. Pendahuluan

Perkembangan zaman yang cepat menyebabkan Indonesia sebagai negara berkembang harus mempersiapkan diri menghadapi revolusi industri 5.0. Data Kementrian Perindustrian (Kemenperin) menunjukkan bahwa sektor industri meningkat sebesar 4,83% pada tahun 2022. Dibalik hal tersebut, kebutuhan bahan baku dalam industri non-migas masih bergantung pada impor. Salah satu bahan baku non-migas tersebut yaitu pentaeritritol (PENT).

Pentaeritritol merupakan senyawa 5 (lima) atom karbon dengan 4 (empat) gugus alkohol. Kegunaan pentaeritritol ini juga bervariatif, diantaranya yaitu digunakan sebagai bahan baku pembuatan cat tembok, penghalus serat kain, pelumas mesin otomotif, dan peledak [1]. Berdasarkan kegunaannya, pentaeritritol berpeluang besar untuk didirikan mengingat pabrik tersebut belum ada di Indonesia. Kebutuhan bahan baku pembuatan pentaeritritol juga tersedia melimpah di Indonesia. Hal ini dapat memperbesar peluang berdirinya pabrik pentaeritritol.

Tabel 1. Data Impor Pentaeritritol di Indonesia

Tahun	Impor (Ton/Tahun)	Pertumbuhan (%)
2019	5.022,34	-
2020	5.024,13	0,04
2021	5.863,50	16,71
2022	4.863,41	-17,06
2023	5.138,39	5,65
Total	25.911,77	5,34
Rata-rata		1,34

Tabel 2. Data Ekspor Pentaeritritol di Indonesia

Tahun	Ekspor (Ton/Tahun)	Pertumbuhan (%)
2019	1	-
2020	0	-100
2021	0	0
2022	2	100
2023	0	-100
Total		-100
Rata-rata		-25

Berdasarkan data impor dan ekspor yang sudah ada, kapasitas kebutuhan pentaeritritol pada tahun 2028 dapat dihitung menggunakan *discounted method* dengan persamaan,

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

Keterangan:
F: nilai pada tahun ke-n
P: besar data pada tahun pertama
i: rata-rata kenaikan data
n: selisih tahun (tahun ke-n)

Berdasarkan hasil perhitungan dari persamaan diatas, didapatkan perkiraan data impor sebesar 5.659,05 ton dan ekspor sebesar 0,08 ton pada tahun 2028. Kapasitas pabrik ditentukan menggunakan persamaan

$$m1 + m2 + m3 + m4 + m5 \quad (2)$$

Keterangan:
m1: nilai impor
m2: kapasitas pabrik lama
m3: kapasitas pabrik baru
m4: jumlah ekspor
m5: konsumsi dalam negeri

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan nilai m3 sebesar 5.659,13 ton/tahun. Kapasitas produksi pentaeritritol yang akan didirikan yaitu sebesar 98,96% dari kebutuhan. Kemudian diperoleh kapasitas produksi sebesar 5.600 ton/tahun dimana hanya untuk mencukupi kebutuhan dalam negeri.

2. Proses Pembuatan Pentaeritriol (PENT)

Proses produksi pentaeritriol berbahan baku formaldehida dan asetaldehida dengan natrium hidroksida sebagai media alkali dilakukan dengan 4 tahap,
1) *Pre-Treatment* Bahan Baku
2) Proses reaksi
3) Proses pemisahan/pemurnian
4) Proses persiapan produk

2.1. *Pre-treatment* Bahan Baku

Persiapan bahan baku dalam pembuatan pentaeritritol diawali dengan penurunan konsentrasi natrium hidroksida (NaOH). NaOH 48% dan air dialirkan menuju mixer (M-110) dengan suhu 30˚C untuk mendapatkan NaOH 32% sehingga NaOH siap untuk dialirkan menuju reaktor. Bahan baku utama berupa formaldehida juga dialirkan menuju mixer (M-120) untuk menurunkan konsentrasi. Formaldehida 37% diencerkan menggunakan air pada suhu 30˚C hingga membentuk formaldehida 12% sehingga dapat dialirkan menuju reaktor (R-210).

2.2. Proses Reaksi

Larutan NaOH 32%, formaldehida 12%, dan asetaldehida 99% dialirkan menuju reaktor (R-210) pada suhu 30˚C. Reaksi terjadi secara eksotermis sehingga terdapat kenaikan suhu dan suhu dipertahankan hingga 60˚C menggunakan coil pendingin. Terdapat reaksi *aldol* dan *cannizzaro* dalam reaktor sehingga dihasilkan produk hasil reaksi yakni pentaeritritol serta natrium format. Reaksi yang terjadi pada reaktor dapat dituliskan sebagai berikut,

$$3CH_2O_{(l)} + CH_3CHO_{(l)} \rightarrow (HOCH_2)_3C - CHO_{(l)}$$

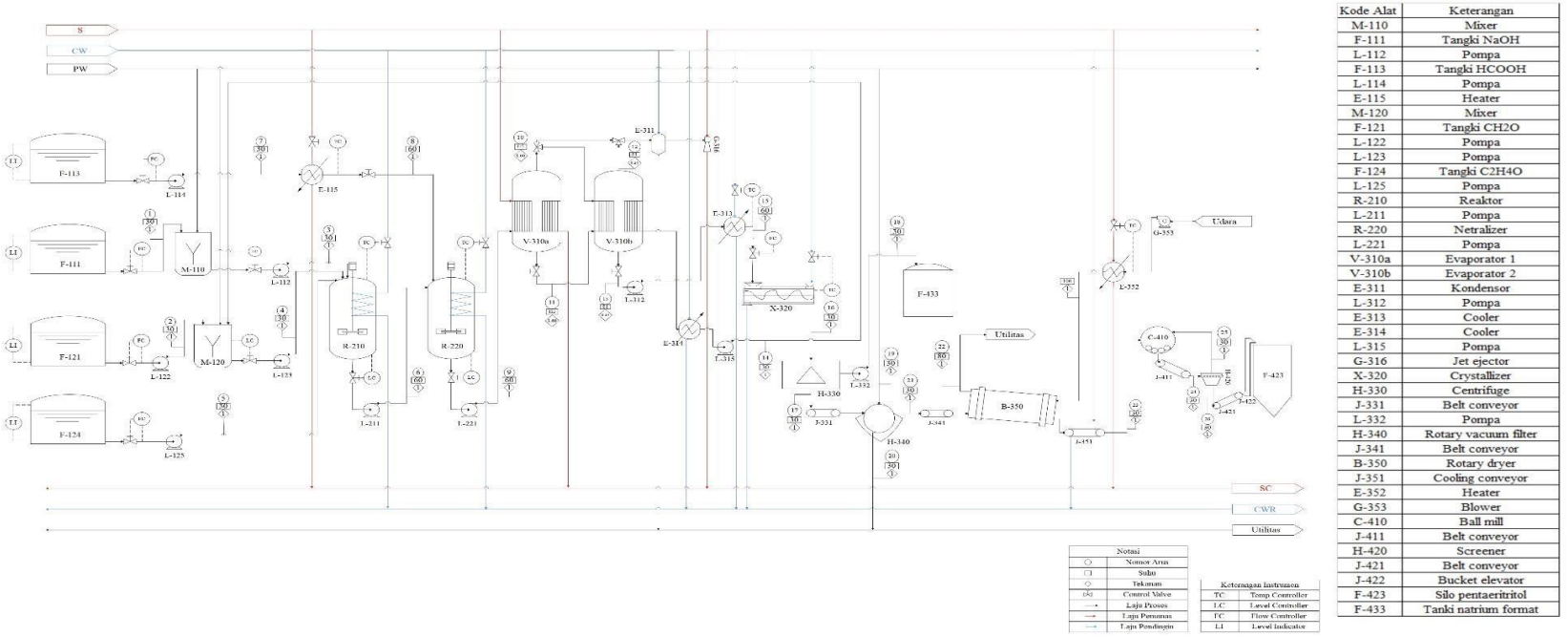
$$CH_2O_{(l)} + (HOCH_2)_3C - CHO_{(l)} + NaOH_{(l)} \rightarrow (HOCH_2)_4C_{(l)} + HCOONa_{(l)}$$

Reaksi yang terjadi di reaktor masih tersisa formaldihida, asetaldehida, dan natrium hidroksida yang tidak bereaksi. Hasil reaksi dan bahan baku yang tidak bereaksi selanjutnya disalurkan ke netralizer untuk proses netralisasi. Netralisasi dilakukan dengan menambahkan asam format 98% dengan tujuan untuk menghilangkan sisa NaOH yang tidak bereaksi. Penghilangan senyawa NaOH dilakukan hingga pH 6,2-7 dan membentuk senyawa natrium format.

2.3. Tahap Pemisahan/Pemurnian

Pemurnian diawali dengan evaporasi hasil neutralizer ke dalam *double effect evaporator* (V-310). Evaporator *effect* satu (V-310a) dengan suhu 115˚C dan tekanan 1,6 atm yang bertujuan untuk menguapkan air, methanol, formaldehida serta asetaldehida yang tidak bereaksi. Uap methanol dan asetaldehida sebagai produk atas yang mengalir ke kondensor, sedangkan uap air dan uap formaldehida sebagai steam pada evaporator *effect* dua (V-310b). Produk bawah *effect* satu dialirkan menuju *effect* dua dan dihasilkan produk atas berupa uap air yang mengalir menuju kondensor. Evaporator *effect* dua dengan kondisi suhu 81˚C dan tekanan 0,46 atm menghasilkan produk bawah berupa pentaeritritol dan natrium format yang akan dialirkan menuju kristalizer.

Produk diturunkan suhunya menggunakan cooler hingga suhu 60˚C sebelum masuk kristalizer. Kristalizer berfungsi untuk mengkristalisasi pentaeritritol sehingga produk dapat berupa padat. Hasil kristalisasi diteruskan ke *centrifuge* untuk memisahkan pentaeritritol dan natrium format. Natrium format sebagai hasil atas *centrifuge* menjadi produk samping langsung disalurkan ke tangki penyimpanan dan siap untuk dijual. Produk bawah *centrifuge* berupa pentaeritritol disalurkan menuju *rotary vacuum filter* untuk menghilangkan natrium format sisa dan zat pengotor lainnya. Hasil *rotary vacuum filter* disalurkan menuju *rotary dryer* untuk mengeringkan kristal pentaeritritol dengan suhu 100˚C [4].



Kode Alat	Keterangan
M-110	Mixer
F-111	Tangki NaOH
L-112	Pompa
F-113	Tangki HCOOH
L-114	Pompa
E-115	Heater
M-120	Mixer
F-121	Tangki CH2O
L-122	Pompa
L-123	Pompa
F-124	Tangki C2H4O
L-125	Pompa
R-210	Reaktor
L-211	Pompa
R-220	Netralizer
L-221	Pompa
V-310a	Evaporator 1
V-310b	Evaporator 2
E-311	Kondensor
L-312	Pompa
E-313	Cooler
E-314	Cooler
L-315	Pompa
G-316	Jet ejector
X-320	Crystallizer
H-330	Centrifuge
J-331	Belt conveyor
L-332	Pompa
H-340	Rotary vacuum filter
J-341	Belt conveyor
B-350	Rotary dryer
J-351	Cooling conveyor
E-352	Heater
G-353	Blower
C-410	Ball mill
J-411	Belt conveyor
H-420	Screener
J-421	Belt conveyor
J-422	Bucket elevator
F-423	Silo pentaeritritol
F-433	Tanki natrium format

Notasi	
○	Nomor Arus
□	Suhu
◇	Tekanan
⋈	Control Valve
→	Laju Proses
→	Laju Pemanas
→	Laju Pendingin

Keterangan Instrumen	
TC	Temp Controller
LC	Level Controller
FC	Flow Controller
LI	Level Indicator

Komponen	1	2	3	4	5	6	7 , 8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
CH2O		892.134		892.134		268.354		268.354	268.354				268.354												
CH3OH		60.279		60.279		60.279		60.279	60.279																
C2H4O					261.779	32.984		32.984	32.984																
NaOH	285.214		285.214			77.483																			
HCOOH							89.161																		
HCOONa						353.205		484.950		484.950		484.950		484.950	484.950	17.342	467.608		16.822	0.520		0.520	0.548	0.027	0.520
C5H12O4(aq)						707.100		707.100		707.100		707.100		707.100	0.639	0.639			0.62	0.019					
C5H12O4(s)															706.461	706.461				706.461		706.480	743.663	37.183	706.480
H2O	308.982	1458.759	606.080	6482.034	2.644	7090.758	1.820	7127.477	4607.797	2519.680	1656.471	863.209	2442.96	863.209	863.209	17.343	845.867	111.268	125.751	3.858	3.788	0.071	0.074	0.004	0.071
Total (kg/jam)	594.196	2411.17	891.294	7434.45	264.423	8590.16	90.981	8681.14	4969.41	3711.73	1656.47	2055.26	2711.32	2055.26	2055.26	741.785	1313.48	111.268	143.193	710.858	3.788	707.071	744.285	37.214	707.071

PRA-RANCANGAN PABRIK PENTAERITRITOL (PENT) DARI ASETALDEHIDA DAN FORMALDEHIDA DENGAN NATRIUM HIDROKSIDA SEBAGAI MEDIA ALKALI DENGAN KAPASITAS PRODUKSI 5.600 TON/TAHUN

Disusun Oleh :

Ahmad Cavan Difa Al Faiq 201910401063
M. Khoirunnaifieddin 201910401072
Nyimas Adhelia Mamay Fauziah 201910401104

Dosen Pembimbing Utama :
Helda Wika Amini, S.Si., M.Si., M.Sc.

Dosen Pembimbing Anggota :
Ir. Boy Arief Fachri, S.T., M.T., Ph.D.

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER

Gambar 1. *Process Flow Diagram* Pra Rancangan Pabrik Pentaeritritol Dari Asetaldehida dan Formaldehida dengan Natrium Hidroksida Sebagai Media Alkali Dengan Kapasitas 5.600 Ton/Tahun

2.4. Proses Pengemasan Produk

Pentaeritritol hasil *rotary dryer* disalurkan menuju *ballmill* dengan menggunakan *cooling conveyor*. *Ball mill* digunakan untuk mengecilkan ukuran kristal pentaeritritol. Hasil *ball mill* disalurkan menuju *screener* untuk mendapatkan pentaeritritol ukuran 200 mesh [5]. Pentaeritritol yang tidak memenuhi ukuran, akan disalurkan kembali ke *ball mill*. Pentaeritritol 200 mesh disalurkan ke tangki penyimpanan dan siap untuk dikemas.

3. Utilitas

Kebutuhan air pabrik sebesar 31.029,090 kg didapatkan dari Sungai Gending, Desa Bulang, Kecamatan Gending, Probolinggo yang berjarak sekitar 1 km dari pabrik. Pasokan listrik pabrik diperoleh dari PLN dengan kebutuhan listik pabrik sebesar 354,737 kW. Total Kebutuhan utilitas pabrik dapat dilihat pada tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Kebutuhan Air Pabrik

Jenis Kebutuhan	Laju Alir (kg/jam)
Air Umpan Boiler	4.519,588
Air Pendingin	21.579,576
Air Proses	4.134,726
Air Sanitasi	795,200
Total	**31.029,090**

Tabel 4. Kebutuhan Listrik Pabrik

No	Jenis Kebutuhan	Daya (hp)	Daya (kW)
1.	Unit Peralatan Laboratorium,	64,517	48,110
2.	kantor, fasilitas lain	12,903	9,622
3.	Penerangan	277,575	212,845
4.	Faktor keamanan 20%	70,999	54,115
	Total	425,994	324,692

4. Analisa Ekonomi

Tabel 5. Harga Total Produk

Produk	Harga /kg	Jumlah (kg/tahun)	Harga Total Per Tahun
Pentaeritritol	$1,84	5.600.000	$10.315.608,5
Natrium Format	$0,33	10.402.724	$3.385.338,47
Total		**16.002.724**	**$13.700.947,0**

Tabel 6. Kebutuhan Biaya Pabrik

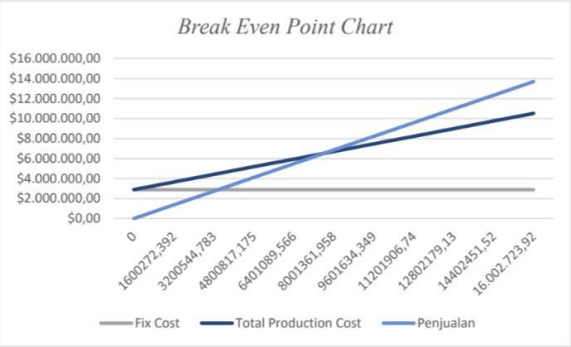
Jenis Biaya	Jumlah
FCI	$7.539.836
WCI	$837.760
TCI	$8.377.596
TPC	$7.625.289
Total	**$24.380.481**

Analisa ekonomi pabrik sangat diperlukan untuk mengetahui besar kecilnya laba yang diperoleh serta mengetahui kelayakan pabrik untuk didirikan. Penentuan kelayakan ekonomi dapat dilihat dari beberapa parameter yaitu A*nnualCash Flow* (ACF), *Pay Out Time* (POT), *Net Profit Over Total Lifetime* (NPOTLTP), *Total Capital Sink* (TCS), *Rate of Return* (ROR), *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCF-ROR), *Break Even Point* (BEP) yang dapat dilihat pada tabel 7 [6].

Tabel 7. Analisa Ekonomi Pabrik

Parameter	Hasil Perhitungan	Syarat Kelayakan
ACF	38,60%	>8,25%
POT	2,88 tahun	<5 tahun
NPOTLTP	$2.498.457.125	>$10.888.514
TCS	$22.190.103,46	>$8.966.090,5
ROR	29,63%	>8,25%
DCF-ROR	37,15%	>8,42%
BEP	47,62%	40-50%

Break Even Point (BEP) merupakan titik seimbang yang menunjukkan bahwa pabrik memiliki nilai penghasilan dan biaya yang sama [7]. Berdasarkan tabel 7 dapat dilihat bawa BEP memiliki nilai 47,62 % sehingga dapat dikatakan layak atau memenuhi, berikut merupakan grafik BEP pabrik pentaeritritol.



Gambar 2. Grafik BEP Pabrik Pentaeritritol Kapasitas 5.600 Ton/Tahun

5. Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan dan analisa diatas dapat disimpulkan bahwa Pabrik Pentaeritritol (PENT) dari Asetaldehida dan Formaldehida dengan Natrium Hidroksida sebagai Media Alkali dengan Kapasitas Produksi 5.600 ton/tahun berlokasi di kawasan Probolinggo *Industrial Park* yang berada di Kecamatan Gending, kabupaten Probolinggo yang memiliki luas 13.066,54 m^2 dengan bentuk usaha PT (Perseroan Terbatas) dengan jumlah karyawan 284 orang. Analisa ekonomi menunjukkan bahwa pabrik layak untuk didirikan dengan nilai *annual cash flow* (AFC) sebesar 38,6%, *Pay Out Time* (POT) sebesar 2,88 tahun, *Net Profit Over Total Life of the Project* (NPOTLP) sebesar $24.984.57,25 *Total Capotal Sink* (TCS) sebesar $22.190.103,46, *Rate of Return* (ROR) sebesar 29,63%, *Discounted Cash Flow* sebesar 37,15%, dan *Break Even Point* (BEP) sebesar 47,62%.

DAFTAR PUSTAKA

[1] R. Roy And M. Touaibia, "3.36 Application of Multivalent Mannosylated Dendrimers in Glycobiology," 2007.
[2] Badan Pusat Statistik, "Data Impor Pentaeritritol di Indonesia," Badan Pusat Statistik. [Online]. Available: Https://www.Bps.Go.Id/Id/Exim
[3] Badan Pusat Statistik, "Data Ekspor Pentaeritritol di Indonesia," Badan Pusat Statistik. [Online]. Available: Https://www.Bps.Go.Id/Id/Exim
[4] L. Eek, "Process for Preparation of Pentaerythritol," 5,741,956, 1998
[5] A. J. Poynton And M. Royal, "Separation of Pentaerythritol and Dipentaerythirtol f rom Solution," 2,978,514, 1961 Doi: 10.17077/0031-0360.24332.
[6] Ma. S.Peter, K. D. Timmerhaus, And R. E.West, Plant Design And Economics For Chemical Engineers, 5th Ed., Vol. 01. New York: Mcgraw-Hill Book Company, Inc, 2017.
[7] Kusnarjo, Desain Pabrik Kimia. 2010.