

PRARANCANGAN PABRIK MTBE (METIL TERTIARI BUTIL ETER) DARI METANOL DENGAN DISAIN ALAT UTAMA REAKTOR MTBE (R-101)

Monica Kartiningtyas Pranoto¹⁾, Said Zul Amraini²⁾

1) Mahasiswa Program Studi Teknik Kimia, 2) Dosen Teknik Kimia

Laboratorium Teknologi Bioproses

Program Studi Teknik Kimia S1, Fakultas Teknik Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas KM 12,5 Simpang Baru, Panam

Pekanbaru, 28293

E-mail : monica.kartiningtyas5953@student.unri.ac.id

ABSTRACT

There are more motorized vehicles in Indonesia in line with the increasing demand for fuel. This development will have a negative impact, environmental pollution so MTBE is a substances with a lower risk and environmentally friendly are chosen. The target market of this factory is to meet the need for MTBE in Indonesia and to export it to the Asia Pacific region. MTBE production process is carried out by reacting methanol with isobuten with a capacity is 280,000 tons/year. The MTBE reactor serves as a place for reacting methanol and isobuten to produce MTBE. The reactor is fixed bed multi tube type which has 109 tubes with Torispherical flanged dished head. Reactor operating temperature is 60°C, pressure is 6 bar and using Amberlyst 15 as catalyst. The height of the reactor is 26.3 ft and diameter is 4.5 ft. The reaction is exothermic, so the principle of the reactor is like a shell and tube heat exchanger with cooling water flow of 1,070,054 lb/hour. The value of Fixed Capital Investment is \$ 39,009,534. The value of the Working Capital Investment is obtained 15% of the Total Capital Investment (TCI) or worth \$ 6,884,035 so that the TCI is \$ 45,893,569. The total production cost is \$ 349,777,652 so that it will generate a gross profit as \$ 220,011,513 after deducting 35% tax. ROI after tax is 88%, BEP is 50% and Pay out time for 1 year with a Shut Down Point is 0.23%. This factory has an IRR that is 22.76% which is greater than the RRR of a bank which is 22.55%, then the value of NPV is \$ 90,140,564 which is greater than the TCI. From these two factors, it can be concluded that the MTBE plant is feasible to build.

Keyword: *Isobutene, Methanol, methyl tert butyl ether, reactor fixed bed multi tube*

1. PENDAHULUAN

Pemakaian kendaraan bermotor di Indonesia semakin banyak seiring dengan perkembangan dan perubahan zaman sehingga kebutuhan akan bahan bakar mengalami peningkatan. Perkembangan ini akan membawa dampak negatif yakni pencemaran lingkungan yang disebabkan karena pembakaran pada mesin motor tidak berlangsung secara sempurna, sehingga mendorong pengembangan zat aditif yang dapat meningkatkan nilai

bilangan oktan yaitu adalah TEL dan MTBE.

TEL mengandung timbal yang dapat menyebabkan pencemaran udara dan berdampak negatif terhadap kesehatan manusia sehingga diganti oleh MTBE dengan resiko lebih rendah dan ramah lingkungan. MTBE selain berfungsi sebagai zat aditif juga dapat digunakan sebagai pelarut, anti knock pada motor dan lain-lain (Trevalle dkk, 1985).

Selama ini kebutuhan akan MTBE di Indonesia masih sangat bergantung terhadap impor dari beberapa negara sehingga perlu didirikan pabrik untuk memproduksi MTBE guna memenuhi kebutuhan dalam negeri, mengurangi ketergantungan impor, dan apabila memungkinkan dapat di ekspor untuk menambah pendapatan negara. Selanjutnya hal ini dapat mengurangi angka pengangguran di Indonesia dengan adanya lapangan kerja baru.

Negara di Asia Pasifik dan Eropa masih bergantung dengan pemakaian MTBE dikarenakan bertambahnya pemakaian kendaraan dan harga MTBE yang relatif lebih murah yang menyebabkan kebutuhan semakin meningkat. Pada tahun 2019 Indonesia adalah salah satu negara dengan kebutuhan MTBE yang besar berdasarkan data BPS sebesar 18,498,176 kg/tahun. Hal ini menunjukkan tingginya jumlah kebutuhan MTBE di Indonesia.

Permintaan yang cukup banyak tidak seiring dengan jumlah perusahaan MTBE yang telah berdiri oleh sebab itu pabrik MTBE yang akan didirikan di Indonesia akan sangat menguntungkan sehingga *Target market* dari pabrik ini adalah untuk memenuhi kebutuhan akan MTBE di dalam Negeri Indonesia dan di ekspor ke kawasan Asia Pasifik.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Spesifikasi Bahan Baku

Adapun bahan baku yang akan digunakan dalam proses produksi MTBE adalah metanol dan isobuten. Metanol merupakan zat yang bersifat mudah menguap, mudah terbakar, dan beracun dengan bau yang khas. Metanol dipasok dari PT Kaltim Metanol Indonesia dengan spesifikasi sebagai berikut.

Tabel 2.1 Grade Metanol Produksi PT Kaltim Metanol Indonesia

<i>Product Name</i>	<i>Methanol</i>
<i>Grade</i>	AA
<i>Synonyms</i>	MeOH
<i>CAS No</i>	67-56-1
<i>EINECS No</i>	200-659-6
<i>Molar Mass</i>	32.04 gr/mol

Isobuten merupakan senyawa alkena yang didapat dari ekstraksi pemotongan C4 dari pemecahan uap atau pemecahan katalitik. Berikut ini adalah sifat kimia dan fisika isobuten.

Tabel 2.2 Sifat Kimia dan Fisika Isobuten

Parameter	Nilai
Berat Molekul	56,108
<i>Freezing Point</i>	-140,4 °C
<i>Boiling Point</i>	-6,9 °C
<i>Relative Density</i>	1,947 pada 1 atm
<i>Flamabble Limid</i>	1,8 – 9,6 %

2.2 Spesifikasi Produk

MTBE dibuat dengan mereaksikan metanol dengan isobuten. MTBE memiliki sifat mudah menguap, mudah terbakar dan berwarna jernih serta mudah larut dalam air. Berikut ini adalah sifat kimia dan fisika MTBE.

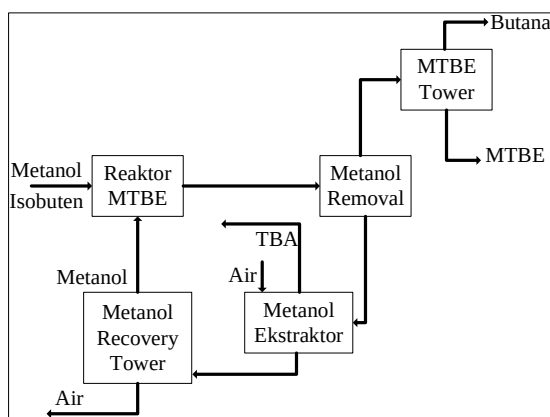
Tabel 2.3 Sifat Kimia dan Fisika MTBE

Parameter	Nilai
<i>Vapour Pressure</i>	245 mm hg
<i>Density</i>	0.7
<i>Specific Gravity</i>	0,74
<i>Solubility</i>	4.8 g/100 ml
<i>Melting Point</i>	-110 °C
<i>Boiling Point</i>	54 - 56 °C
<i>Vapour Density</i>	0,2 pada 1 atm
<i>Flash Point</i>	-28 °C
Faktor Konversi	1 mg/m ³ = 0.28 ppm 1 ppm = 3.61 mg/m ³

2.3 Deskripsi Proses

Metanol disimpan dalam tangki penyimpanan dengan tekanan 1 atm pada suhu ruang sedangkan isobuten disimpan dalam tangki bertekanan sebesar 4 atm dalam suhu ruang dikarenakan pada kondisi tersebut isobuten dalam fasa cair.

Berikut ini adalah blok diagram deskripsi proses.



Gambar 2.1 Blok diagram proses

Dari gambar 2.1 dapat dilihat bahan baku berupa metanol, isobuten dan recycle hasil dari metanol *recovery tower* masuk ke reaktor MTBE. Suhu operasi reaktor sebesar 60°C dan tekanan sebesar 6 bar dimana tekanan tinggi menyebabkan terjadinya reaksi berlangsung pada fasa cair sehingga tidak terjadi reaksi isomerisasi umpan. Pada reaksi esterifikasi pembuatan MTBE umpan berupa metanol dan isobuten masuk ke dalam reaktor yang dirancang vertikal sehingga reaktan masuk dari atas reaktor. Di dalam reaktor terdapat banyak *tube* yang berisi katalis padat yaitu katalis Amberlyst 15. Reaksi berlangsung bersifat eksotermis maka prinsip reaktor menggunakan prinsip seperti *shell and tube heat exchanger* dengan dialirkan air pendingin untuk mencegah kenaikan suhu yang drastis.

Selanjutnya senyawa hasil reaksi pada reaktor akan dipompakan ke dalam metanol *removal*. Pada metanol *removal* akan dipisahkan senyawa menjadi fraksi-fraksinya dengan *top* produk berupa MTBE, metanol yang tidak bereaksi dan butana dan *bottom* produk berupa metanol yang tidak bereaksi, TBA dan air. Selanjutnya senyawa *top* produk metanol *removal* akan dipompakan ke MTBE

Tower. Pada MTBE *Tower* berfungsi untuk memisahkan metanol dan MTBE dimana dihasilkan *top* produk berupa butana dan metanol sedangkan *bottom* produk berupa MTBE. *Bottom* produk hasil dari metanol *removal* dipompakan ke metanol ekstraktor. Pada metanol ekstraktor, air dialirkan ke dalam ekstraktor selanjutnya akan dihasilkan *top* produk berupa TBA dan *bottom* produk berupa metanol dan air. Kemudian *bottom* produk masuk ke dalam metanol *recovery tower* untuk memisahkan air dan metanol. Metanol berupa *top* produk untuk di *recovery*, sedangkan *bottom* produk berupa air akan dialirkan ke unit utilitas.

3. METODOLOGI

Tahapan prarancangan pabrik metil tertiary butyl eter (MTBE) terdiri dari:

1. Pengumpulan data seperti deskripsi proses dan menentukan variabel proses setiap unit.
2. Merancang *process flow diagram*.
3. Membuat neraca massa dan neraca energi
4. Membuat *Maximum Energy Recovery (MER)* dan *Heat Exchanger Network (HEN)*.
5. Menghitung dan mendesain setiap unit seperti reaktor, destilasi, ekstraktor, tangki penyimpanan, heat exchanger, pompa, dan unit utilitas.
6. Menentukan sistem instrumentasi proses setiap unit.
7. Menghitung dan merancang alat utama reaktor MTBE.
8. Menentukan prospek industri dan pemasaran, pemilihan lokasi, studi kelayakan, tata letak pabrik dan alat, *master schedule*, dan struktur organisasi.
9. Membuat analisis kelayakan ekonomi seperti penaksiran harga

peralatan, FCI, WCI, TCI, biaya peralatan, pendapatan dan arus kas, analisis profitabilitas, dan analisis selektivitas,

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Disain Alat Utama Reaktor MTBE

Reaktor MTBE berfungsi sebagai tempat untuk mereaksikan metanol dan isobuten sehingga menghasilkan MTBE. Reaktor berjenis *fixed bed multi tube* dimana katalis berdiam di dalam *bed*. Di dalam reaktor, katalis ditopang *perforated tray*.

Selain reaksi utama terdapat reaksi samping dimana sisa dari isobuten bereaksi dengan air yang menghasilkan produk samping berupa *tertiari butil alkohol*. Perancangan reaktor MTBE dilakukan atas beberapa tahapan yaitu :

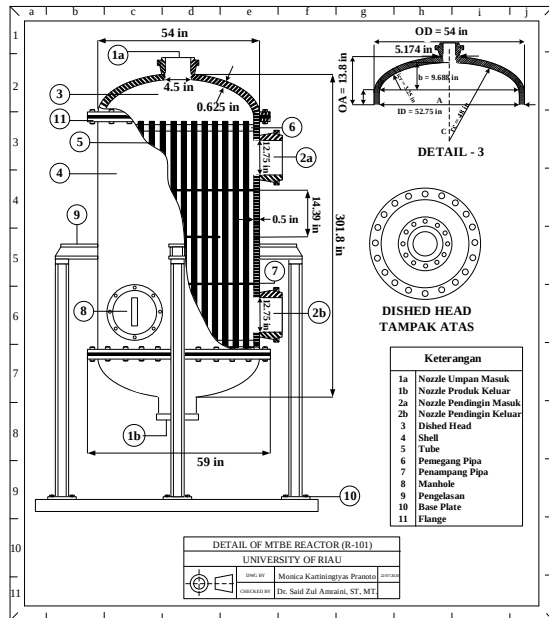
1. Menentukan kondisi proses reaktor, jenis reaktor dan jenis katalis yang sesuai dengan kondisi proses.
2. Menentukan persamaan laju reaksi.
3. Menghitung jumlah katalis berdasarkan laju reaksi,
4. Menghitung jumlah tube dan rancangan susunan tube
5. Mendesain shell, head dan bottom berdasarkan tekanan operasi.
6. Menghitung volume dan luas permukaan reaktor
7. Menghitung dan mendesain *nozzle*, *perforated plate*, tebal pemegang pipa, *flange*, *bolt*, *manhole* dan *gasket*.
8. Menghitung berat reaktor dan mendesain sistem penyangga dan sistem pondasi.

Dari tahapan tersebut didapatkan spesifikasi alat yang dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4.1 Spesifikasi Reaktor MTBE

Reaktor MTBE	Kode	R-101	
	Jenis Reaktor	Fixed bed multi tube	
	Fungsi	Tempat untuk mereaksikan metanol dengan isobuten menghasilkan MTBE.	
Operating Data			
Temperatur	60°C	333,15 K	
Volume Reaktor	8,53 m ³	301,126 ft ³	
Tekanan operasi	6 bar	88,176 psi	
Tekanan design	7,2 bar	105,8112 psi	
Jenis	Silinder tegak dengan tutup atas dan bawah berbentuk torispherical flanged dished head		
Tinggi Reaktor	8 m	26,3 ft	
SHELL			
Material Shell	Carbon steel SA-167 Grade 11 Type 316		
Tegangan diizinkan, (f)	18.750 psi		
Efisiensi Sambungan (E)	0,8		
Faktor Korosi (C)	0,25 in		
Diamter Dalam Shell (IDs)	47,975 in	3,988 ft	
Diameter Luar Shell (ODs)	54 in	4,5 ft	
Tinggi Shell (H)	287,985 in	24 ft	
Tebal Shell (ts)	0,5 in	0,04 ft	
HEAD			
Jenis Head	Torispherical flanged dished head		
Material Head	Carbon steel SA-167 Grade 11 Type 316		
Tebal Head (th)	0,625 in	0,052 ft	
Sf	3,5 in	0,29 ft	
Icr	3,25 in	0,027 ft	
Tinggi head	13,8 in	45,32 ft	
TUBE			
Susunan Tube	Triangular Pitch		
Nominal Pipe Size (NPS)	3 in		
Tinggi Tube (Lt)	287,985 in	24 ft	
Diameter Dalam Tube	3,068 in	0,256 ft	
Diameter Luar Tube	3,5 in	0,29 ft	
Luas Penampang Tube	7,38 in	0,051 ft	
Tebal Tube	0,216 in	0,018 ft	
Jarak Pusat Tube (PT)	4,375 in	0,365 ft	
Jarak Antar Tube (C')	0,875 in	0,073 ft	
Jumlah Tube	109		
DATA MATERIAL			
Laju Alir Reaktan	45429,49 kg/jam	100172,01 9 lb/jam	
Laju Alir Pendingin	485285 kg/jam	1070054 lb/jam	
Berat Katalis	2425,65 kg	5347,63 lb	
Densitas Katalis	800 kg/m3	0,8 g/cm3	
Diameter Katalis	0,01 m	0,03281 ft	

Rancangan dari reaktor MTBE dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Desain Reaktor MTBE

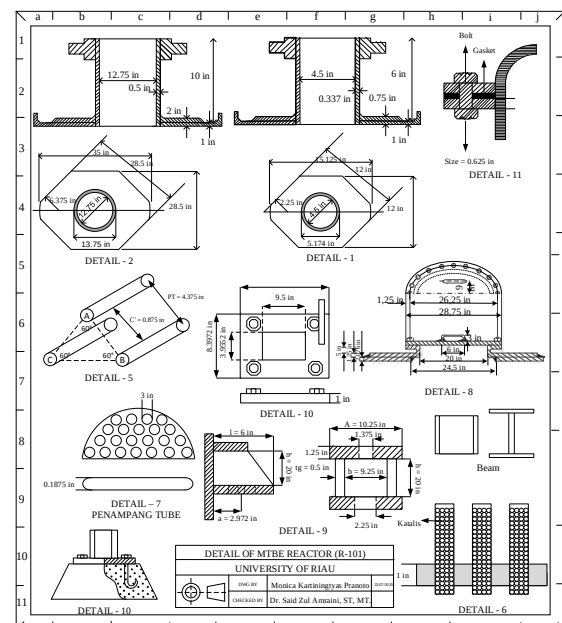
Aksesoris reaktor terdiri dari *flange*, *nozzle*, *manhole*, *perforated plate* dan penyangga. Berikut ini adalah spesifikasi dari aksesoris reaktor MTBE.

Tabel 4.2 Spesifikasi Aksesoris Reaktor MTBE

Flange Pada Sambungan Head Dengan Shell		
Jenis Flange	Integral Type Flanges	
Material Flange	Carbon Steel SA 240 Grade C	
Tegangan dari Material Flange	18750 psi	
Diameter Luar Flange (A)	57,73 in	4,8 ft
Diameter Dalam Flange (B)	54 in	4,5 ft
Tebal Flange	0,875 in	0,073 ft
Material Gasket	Soft Steel	
Lebar Gasket	0,5 in	0,04 ft
Diameter Gasket	49,475 in	4,123 ft
Material Bolt	Carbon Steel SA 193 Grade B6	
Tegangan dari Material Bolt	20.000 psi	
Ukuran Bolt	1,125 in	0,093 ft
Jumlah Bolt	52 buah	
Ukuran Nozzle		
Nozzle Masuk Umpan	4 in	
Nozzle Masuk Pendingin	6 in	
Nozzle Keluaran Produk	4 in	
Nozzle Keluar Pendingin	6 in	
Manhole		
Ukuran Manhole	20 in	1,67 ft
Tebal Shell	0,25 in	0,0208 ft
Tebal Flange	0,625 in	0,052 ft
Panjang Sisi	45 in	3,75 ft
Lebar Reinforcement (W)	53,25 in	4,4375 ft
Diameter Manhole (ID)	21,25 in	1,77 ft
Diameter Lubang (Dp)	25,25 in	2,1 ft

Diameter Plat Penutup	28,75 in	2,3958 ft
Diameter Bolt Circle (DB)	26,25 in	2,1875 ft
Penyangga Tumpukan Katalisator		
Jenis Penyangga Katalisator	Perforated Plate	
Luas Perforated Plate	410,15 in ²	2,85 ft ²
Tebal Plate	0,1875 in	0,0156 ft
Tebal Pemegang Pipa	0,5 in	0,042 in
Sistem Penyangga Reaktor		
Jenis Penyangga	Lug Support dengan tipe Beam	
Tinggi Penyangga	236,55 in	19,7 ft
Kedalaman Beam	10 in	0,83 ft
Lebar Flange	4,944 in	0,412 ft
Web Thickness	0,594 in	0,0495 ft
Ketebalan Flange	0,491 in	0,0409 ft
Area of Section	10,22 in ²	0,071 ft ²
Berat/ft	15,88 kg/ft	35 lb/ft
Beban Maks per Bolt	3894,7 kg	8586,32 lb
Luas Lubang Bolt	0,7155 in ²	0,005 ft ²
Ketebalan Plate	1,25 in	0,1042 ft
Ketebalan Gusset	0,46875 in	0,039063 ft
Beban Base Plate	15891,7 kg	35035,25 lb
Area Base Plate	70,513 in ²	0,5 ft ²
Tebal Base Plate	0,6 in	0,05 ft
Jumlah Lug	4	
Jumlah Beam	4	
Pondasi		
Tinggi Pondasi	20 in	1,67 ft
Volume Pondasi	53.035,3in ³	30,69 ft ³
Berat Total yang Diterima Oleh Tanah	80.142,054 Kg	176.713,2294 lb
Tegangan Tanah Karena Beban	3,96 Ton/ft ²	8.734,65 lb/ft ²

Rancangan dari aksesoris reaktor MTBE dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut ini.

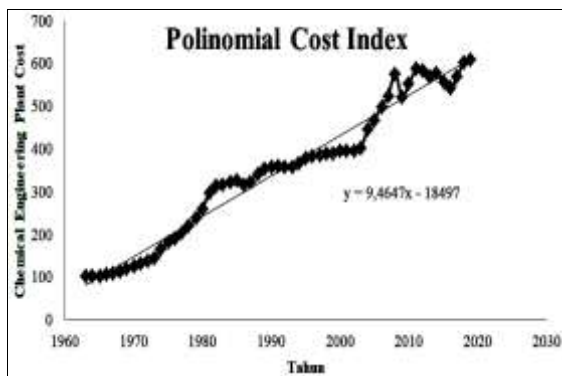


Gambar 4.2 Aksesoris Reaktor MTBE

4.2 Analisis Kelayakan Ekonomi

4.2.1 Penaksiran Harga Peralatan

Penaksiran harga peralatan dapat dilakukan dengan pengumpulan data *cost index* yang bertujuan agar dapat menentukan regresi *cost index* peralatan ditahun pabrik akan mulai beroperasi yaitu 2023-2025. Harga peralatan menggunakan indeks harga CEPCI (*Chemical Engineering Plant Cost Index*) dengan pertimbangan bahwa perancangan pabrik yang berbasis proses terbaru sesuai dengan indeks harga CEPCI (Peters dkk., 2003) yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.3 Grafik *Cost Index*

Dari grafik diperoleh persamaan linear sebagai berikut:

$$y = 9.4647x - 18497 \quad (4.1)$$

dengan memasukkan nilai x , maka diperoleh indeks pada tahun selanjutnya yang dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 CEPCI hasil regresi linear

Tahun	Index	Polinomial
2020	Regresi	621.694
2021	Regresi	631.1587
2022	Regresi	640.6234
2023	Regresi	650.0881
2024	Regresi	659.5528
2025	Regresi	669.0175

Sehingga didapatkan total harga peralatan \$ 4,874,426 atau.

4.2.2 Fixed Capital Investment

FCI dibagi menjadi biaya langsung dan tak langsung. Untuk memperkirakan

modal investasi tetap digunakan persentase dari Tabel 6.3 *typical percentages of fixed-capital investment values for direct and indirect cost segments for multipurpose or large additions to existing facilities* (Peters dkk, 2003) dan diperoleh besarnya FCI \$39,009,534.

4.2.3 Working Capital Investment

WCI adalah jumlah biaya setelah pabrik berdiri dan mulai beroperasi, seperti listrik, gaji karyawan, dana sosial dan sebagainya. Besarnya WCI pada pabrik ini adalah 15% dari *Total Capital Investment* (TCI) atau senilai \$6,884,035.

4.2.4 Total Capital Investment

TCI diperoleh dari beberapa investor maupun pribadi, dengan perkiraan 40% dari modal keseluruhan berasal dari investor atau pribadi, sedangkan 60% merupakan modal pinjaman dari bank. *Total capital investment* terdiri dari biaya pendirian pabrik (FCI) dan biaya pengoperasian pabrik (WCI). Setelah didapatkan nilai FCI dan WCI didapatkan nilai TCI sebesar \$ 45,893,569.

4.3 Analisis Profitabilitas

Dari data hasil penjualan produk dan total *production cost* dengan dasar perhitungan diambil dari buku Peter dan Timmerhouse (2003) didapatkan nilai sebesar \$ 349,777,652 sehingga akan menghasilkan laba kotor yaitu sebesar \$ 220,011,513. Laba bersih dapat dihitung dengan selisih antara laba kotor dengan laba kotor setelah dikurangi pajak sebesar 35%.

4.3.1 Return on investment (ROI)

ROI merupakan perkiraan keuntungan yang diperoleh didasarkan pada kecepatan pengembalian modal tetap (FCI) yang diinvestasikan. Pada pabrik

MTBE ini diperoleh ROI setelah pajak sebesar 88%.

4.3.2 Pay Out Time (POT)

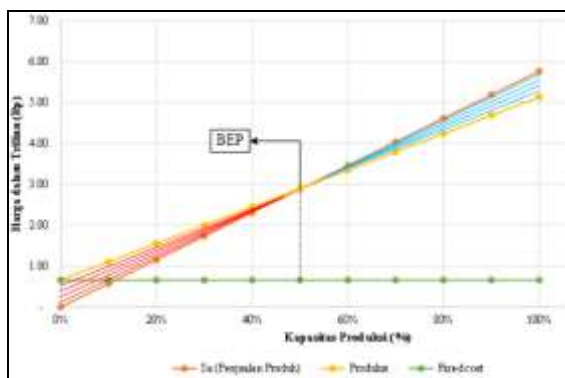
Perhitungan POT dilakukan dengan membagi *capital investment* dengan keuntungan sebelum dikurangi depresiasi. *Pay out time* pada pabrik MTBE ini adalah selama 1 tahun.

4.3.3 Shut Down Point (SDP)

SDP adalah Persen kapasitas minimal suatu pabrik dapat mencapai kapasitas produk yang diharapkan dalam setahun. Apabila tidak mampu mencapai persen kapasitas minimal dalam satu tahun, maka pabrik harus berhenti operasi. SDP pada pabrik ini sebesar 0,23%.

4.3.4 Break Event Point (BEP)

Nilai BEP didapatkan dengan memplotkan kapasitas produksi, harga jual, produksi dengan penjualan produk. Perpotongan garis produksi dengan penjualan produk merupakan nilai BEP yaitu sebesar 50%.

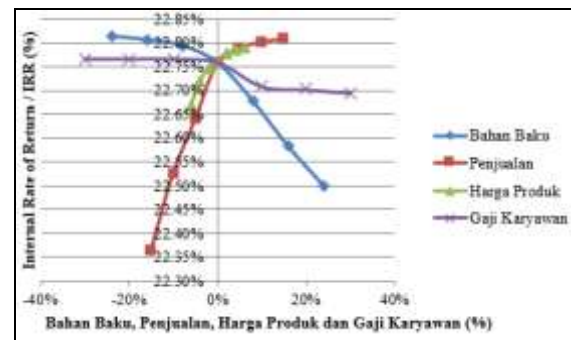


Gambar 4.4 Break Even Point (BEP)

4.3.5 Analisis Sensitivitas

Analisa sensitivitas berfungsi untuk mengetahui besarnya pengaruh pengambilan keputusan terhadap pendapatan. Sensitivitas dibuat dengan memplotkan hubungan garis antara bahan baku, gaji karyawan kapasitas produksi dan harga produk terhadap *Internal Rate of Return* (IRR) pada masing-masing

indikator yang dicari dengan metode *trial and error*. Kemudian diperoleh grafik yang dapat dilihat dibawah ini.



Gambar 4.4 Pemplotan Sensitivitas

Dari gambar diatas dapat dilihat penjualan atau kapasitas pabrik mengalami peningkatan yang tajam ketika terjadi perubahan kapasitas dan harga sedikit saja sedangkan harga produk juga mengalami peningkatan tetapi sedikit lebih landai dari kapasitas pabrik. Seiring besarnya garis karyawan akan menurunkan nilai IRR pabrik begitu juga dengan bahan baku. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pengambilan keputusan dari beberapa parameter tersebut mempengaruhi pendapatan pabrik.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan kebutuhan MTBE di Indonesia, kapasitas pabrik yang akan dibangun sebesar 280,000 ton/pertahun yang berlokasi di daerah Bukit Batu, Kecamatan Bukit Batu, Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau. Reaktor MTBE yang dipakai berjenis *fixed bed multi tube* dengan tinggi 26,3 ft dan berdiameter sebesar 4,5 ft. Pabrik ini memiliki IRR sebesar 22,76% dimana lebih besar dari RRR bank yaitu 22,55% kemudian nilai NPV sebesar \$90,140,564 dimana lebih besar dibandingkan dengan TCI. Dari kedua faktor tersebut dapat disimpulkan bahwa pabrik MTBE layak dibangun.

5.2 Saran

Diperlukan pembangunan pabrik MTBE dengan proses yang berbeda sehingga dapat dibandingkan proses mana yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan untuk pembuatan MTBE.

DAFTAR PUSTAKA

- Brownell, L. E. dan E. H. Young, 1959, *Process Equipment Design*, John Wiley & Sons Inc, USA.
- Badan Pusat Statistik, 2019, *Statistik Indonesia Tahun 2019*, Badan Pusat Statistik, Jakarta Pusat.
- Coulson, J. M. dan J. F. Richardson, 2005, *Chemical Engineering Design*, 4th Edition, Oxford, Butterworth Heinemann.
- Geankoplis, C. J., 1993, *Transport Processes and Unit Operation*, 3rd ed, Pretience-Hall International, New Jersey.
- Hamid, H. dan M. A. Ali, 2010, *Handbook of MTBE and other gasoline oxygenates*, Research Institute King Fahd University of Petroleum and Minerals, Dhahran, Saudi Arabia.
- Peters, M. S., K. D. Timmerhouse, dan R. E. West, 2003, *Plant Design and Economic for Chemical Engineering*. Mc Graw Hill Book Co, New York.
- Trevale, G., G. V. Molise, G. Fausto, dan Buzi, 1985, *Process for Deseparation of Methyl Tert Butyl Ether from Reaction Mixture Containing it*, US Patent 0078422A1.