

PRARANCANGAN PABRIK DIMETIL ETER DARI TANDAN KOSONG SAWIT (TKS) MENGGUNAKAN PROSES *INDIRECT SYNTHESIS* DENGAN DISAIN ALAT UTAMA DESTILASI DIMETIL ETER

Nurrahmiati¹⁾, Panca Setia Utama²⁾

1) Mahasiswa Program Studi Teknik Kimia, 2) Dosen Teknik Kimia
Program Studi Teknik Kimia S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas Km. 12,5 Simpang Baru, Panam,
Pekanbaru 28293

Email : nurrahmiati5904@student.unri.ac.id

ABSTRACT

The level of LPG demand is increasing every year, even the import of LPG has been carried out for a long time, but the need for LPG has not been fulfilled, this has led to the establishment of a Dimethyl Ether (DME) factory to cover LPG needs in Indonesia. DME can also be used as a propellant in aerosol form such as hairspray, insecticide, and air freshener. The main raw material used in the manufacture of DME is Oil Palm Empty Bunches (TKS). This factory is built with a capacity of 50,000 tons / year which will be established in Pelintung, Medang Kampai District, Dumai. The DME production process is carried out by the Indirect Synthesis process where DME is made through 2 processes, namely methanol synthesis from EFB and DME synthesis from methanol. Methanol synthesis and DME synthesis occur in 2 different reactors where methanol is first synthesized then dehydrated to DME. The main equipment design in this plant is the DME Distillation which functions to separate DME as the top product from Methanol and water as the basic product. The feed, distillate and bottom temperatures in this distillation tower are 48,10C, 33,70C and 231.40C with a pressure of 9 atm. , 97 m. Economic analysis on the design of this factory shows that this factory is feasible to be established with a factory Payback Period (PBP) of 2.29 years and a BEP at a capacity of 38%.

Keywords: *Dimethyl ether, economic Analysis, empty palm fruit bunches*

1. PENDAHULUAN

Penggunaan bahan bakar minyak di Indonesia sudah tidak seimbang dengan ketersediaan minyak bumi. Selain ketersediaan minyak yang menurun, produksi LPG dari kilang gas dan minyak juga mengalami penurunan, sedangkan penjualannya terus mengalami peningkatan. Salah satu sumber energi alternatif yang potensial yaitu Dimetil Eter (DME). DME dapat dijadikan sebagai substitut LPG karena DME memiliki sifat-sifat dasar yang mirip dengan LPG (Wang *et al*, 2011).

DME merupakan senyawa eter sederhana yang dapat diproduksi dari berbagai sumber bahan baku seperti gas bumi, batubara, serta biomassa, DME

mempunyai angka cetan yang tinggi, dan sifat yang mendekati LPG seperti viskositas, titik didih dan tekanan, sehingga sangat penting untuk dikaji kemungkinan pemanfaatan DME untuk menggantikan LPG di Indonesia.

DME adalah bahan bakar yang tidak berwarna, tidak beracun dan merupakan eter paling sederhana yang dapat diproduksi dari bahan baku karbon, termasuk biomassa. DME diproduksi melalui proses sintesis dan dehidrasi metanol dari gas alam. Gas alam merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui, sehingga muncul alternatif bahan baku lain yang bersifat *renewable*, salah satunya adalah biomassa. Pada tugas perancangan pabrik ini

biomassa yang digunakan adalah tandan kosong kelapa sawit (TKS).

Produksi *Crude Palm Oil* (CPO) di Indonesia sebesar 49.117.260 ton pada tahun 2020 (Direktorat Jendral Perkebunan, 2020). Produksi CPO terbesar terdapat di provinsi Riau dengan jumlah produksinya pada tahun 2020 yaitu 9.775.672 ton (Direktorat Jendral Perkebunan, 2020). Kelapa sawit memiliki nilai ekonomi yang tinggi karena seluruh bagian dari tanaman kelapa sawit dapat digunakan. Untuk setiap ton CPO diproduksi dari 1 ton tandan TKS, 0,7 ton ijuk, 0,3 ton inti sawit dan 0,3 ton cangkang sawit, dimana total biomassa sawit adalah 2,3 ton (Chang, 2014). Jumlah TKS di Riau pada tahun 2020 diperkirakan sebanyak 9.775.672 ton.

Tabel 1.1 Sebaran produksi terbesar CPO beberapa provinsi di Indonesia.

Provinsi	Produksi CPO (Juta Ton)				
	2016	2017	2018	2019	2020
Sumatera Utara	3,98	5,12	5,74	6,16	6,60
Riau	7,67	8,11	8,50	9,13	9,78
Jambi	1,44	1,85	2,69	2,89	3,09
Sumatera Selatan	2,93	3,20	3,79	4,08	4,37
Kalimantan Tengah	4,26	5,78	7,23	7,75	8,30
Kalimantan Timur	2,36	2,84	3,79	4,04	4,33
Kalimantan Barat	2,19	2,78	3,09	3,32	3,55

(Direktorat Jendral Perkebunan, 2020)

Sejak tahun 2007, Pemerintah mulai mengimplementasikan program konversi minyak tanah ke LPG, oleh karena itu konsumsi LPG terus menunjukkan peningkatan. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, sejak tahun 2008 impor LPG tumbuh signifikan karena produksi dari dalam negeri tidak mencukupi. Perkembangan suplai LPG (produksi dan

impor) sejak tahun 2013-2018 dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

Tabel 1.2 Perkembangan Produksi dan Impor LPG di Indonesia

	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Produksi LPG (juta ton)	2,00	2,44	2,35	2,21	2,05	2,03
Impor LPG (juta ton)	5,32	5,96	6,38	6,79	7,42	7,51

(Sekjen Dewan Energi Nasional, 2019)

Produksi LPG pada tahun 2018 adalah 2,027 juta ton, sedangkan penjualannya pada tahun 2018 adalah 7,51 juta ton (Direktorat Jendral Migas, 2018), karena penjualan dan produksi LPG yang tidak sebanding maka diperlukan pembangunan pabrik Dimetil Eter yang digunakan sebagai sumber energi terbarukan yang dapat digunakan sebagai substitusi LPG.

2. DESKRIPSI PROSES

Proses yang dipilih dalam pembuatan DME dari TKS adalah *indirect synthesis*, dimana proses dehidrasi metanol dan sintesis DME dilakukan pada 2 reaktor yang berbeda. Pembuatan DME meliputi beberapa tahapan yaitu :

2.1 Pretreatment

Pre-treatment bertujuan untuk mengatur ukuran TKS sehingga bahan memiliki ukuran yang sesuai sehingga dapat mengurangi kebutuhan energi di *gasifier*. Proses *pre-treatment* TKS terdiri dari beberapa bagian yaitu *granulator*, *dryer*, *hammermill*, dan *pelletizer*.

2.2 Gasifikasi di Reaktor *Gasifier*

Gasifikasi merupakan proses konversi bahan baku padat menjadi bahan bakar gas. Gasifikasi dilakukan di *gasifier Circulating Fluidized Bed* (CFB). Proses diasumsikan isothermal selama reaksi gasifikasi. Reaktor CFB memiliki karakteristik kontak gas dan solid yang sangat baik serta kapasitas produksi yang tinggi.

2.3 Pemisahan Partikel dan Gas di *Cyclone Separator*

Cyclone separator merupakan alat untuk memisahkan partikulat dari aliran udara, gas atau cairan tanpa menggunakan filter, melalui pemisahan *vortex*. *Cyclone separator* menggunakan prinsip gaya sentrifugal dan tekanan rendah karena adanya perputaran untuk memisahkan materi berdasarkan perbedaan massa jenis, ukuran, dan bentuk.

2.4 Pengaturan Rasio H_2/CO di Reaktor *Water Gas Shift* (WGS)

Reaksi WGS berlangsung untuk menyesuaikan komposisi H_2 / CO ke nilai yang diperlukan. Jenis reaktor yang digunakan adalah reaktor *fixed bed*.

2.5 Pemisahan Gas H_2S pada *Scrubber*

Tujuan pemurnian gas adalah untuk menghilangkan H_2S dan CO_2 parsial. H_2S berakibat fatal bagi katalis sintesis DME dan secara langsung mempengaruhi kinerja katalis dan reaksi sintesis H_2S harus dihilangkan sebelum proses sintesis untuk melindungi sintesis katalis dari sulfurasi.

2.6 Pembentukan Metanol di Reaktor *Methanol Synthesis*

Pada reaktor sintesis metanol terjadi proses hidrogenasi karbon monoksida (CO) dan karbondioksida (CO_2) menjadi metanol berlangsung dalam reaktor *fixed bed multitube*.

2.7 Pemisahan Gas-Cair di *Flash Drum Separation*

Campuran gas, metanol, air dan DME dipisahkan di *flash drum* adiabatik (atau pemisah gas-cair).

2.8 Pembentukan DME di Reaktor DME

Reaktor utama tempat terjadinya reaksi pembentukan DME adalah reaktor DME R-101 berjenis *fixed-bed multitube*. Reaktor *fixed-bed* berupa silinder tegak dengan tutup atas dan bawah berbentuk *torispherical flanged dished head* berbahan dasar *Carbon steel SA-167 Grade 11 Type 316*.

2.9 Pemisahan dan Pemurnian di Unit Distilasi

Distilasi adalah suatu metode pemisahan bahan kimia berdasarkan perbedaan kecepatan atau kemudahan menguap (volatilitas) bahan atau didefinisikan juga teknik pemisahan kimia yang berdasarkan perbedaan titik didih. Distilasi dalam menara DME digunakan untuk memisahkan DME sebagai produk teratas dengan Metanol dan air sebagai produk dasar.

Produk bawah dari distilasi DME adalah metanol dan air. Komponen metanol dan air dipisahkan di distilasi metanol dan akan di *recycle* kembali ke reaktor DME.

3. METODOLOGI

Adapun langkah-langkah dalam prancangan pabrik DME ini diawali dengan pembuatan diagram alir proses pembuatan dimetil eter. Selanjutnya dilakukan pengumpulan sumber data pendukung pendirian pabrik dan proses produksi yang akan dilakukan sehingga didapat perhitungan neraca massa dan energi pada setiap unit. Neraca massa dan energi ini digunakan untuk menentukan kapasitas masing-masing alat, perhitungan dan disain setiap unit utama dan utilitas, dan untuk penentuan spesifikasi setiap unit utama dan utilitas yang akan digunakan.

Setelah spesifikasi alat didapatkan, maka didapatkan harga alat yang akan digunakan untuk perhitungan analisa ekonomi. Perhitungan analisa ekonomi dan kelayakan ekonomi dari pabrik mencakup beberapa hal, yaitu perkiraan biaya pembangunan pabrik berdasarkan spesifikasi yang telah dibuat dan biaya manufacturing berdasarkan kebutuhan bahan baku dan utilitas pada neraca massa dan energy, menilai kelayakan ekonomi pabrik dengan memperkirakan aliran kas tahunan (pro-forma) dan kemudian

menghitung parameter kelayakan: *Return on Investment* (ROI), *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Break-Even Point* (BEP) dan melakukan analisis sensitivitas untuk mengetahui faktor-faktor yang secara signifikan mempengaruhi kelayakan proyek.

4. Disain Distilasi Dimetil Eter (DME)

DME, metanol, dan air memasuki menara distilasi DME. Distilasi DME digunakan untuk memisahkan DME sebagai produk teratas dengan Metanol dan air sebagai produk dasar. Suhu uap, distilat dan bottom pada menara distilasi ini adalah 48,1⁰C, 33,7⁰C dan 231,4⁰C dengan tekanan 9 atm. Jenis tray yang digunakan adalah *sieve tray* dengan bahan konstruksi jenis *Carbon Steel SA 283 Grade C*, dengan tinggi kolom distilasi adalah 10,97 m. Pertimbangan penggunaan *sieve tray* adalah *pressure drop* rendah dan efisiensi tinggi, lebih ringan, murah karena pembuatannya lebih mudah dan biaya perawatan murah karena mudah dibersihkan.

Adapun spesifikasi hasil perancang-an Distilasi DME ditampilkan pada Tabel 4.1.

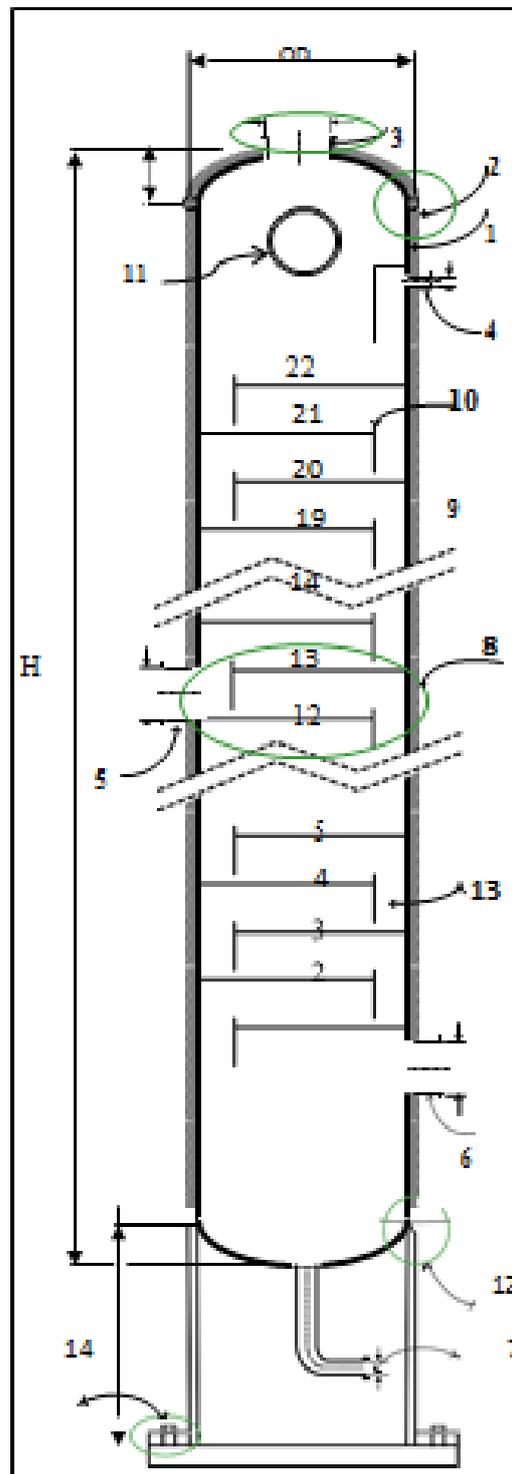
Tabel 4.1 Spesifikasi Menara Distilasi DME

Spesifikasi Menara Distilasi			
Nama alat	Menara Distilasi DME	Kode	D-102
Fungsi	Memisahkan DME dari campuran metanol dan air		
Tipe	<i>Sieve tray distillation</i>		
Sifat Fisik		Distilat	Bottom
Densitas cairan, (kg/m ³)		272,1	333,3
Densitas uap, (kg/m ³)		16,45	5141
Tegangan permukaan cairan, (N/m)		2,41 x10 ⁻⁵	2,09x10 ⁻⁵
Kondisi Operasi	Feed	Distilat	Bottom
Laju Alir (kg/jam)	6806,72	6087,17	719,54
Suhu (°C)	48,16	33,71	231,41
Tekanan operasi (atm)	9	9	9

Material dan Desain		
Jenis Shell	<i>Cylindrical Shell</i>	
Material	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>	
Effisiensi Pengelasan	0,8	
<i>Allowable Stress</i> (psi)	14600	
Faktor Korosi (in)	0,125	
Jumlah Plat Aktual	17	
Diameter Dalam (ID)	48,06 in	1,22 m
Diameter Luar (OD)	48,68 in	1,24 m
Tinggi Menara (H)	432,06 in	10,97 m
Tebal Shell (ts)	0,3125 in	0,0079 m
Tekanan Desain	79,21 psi	5,39 atm
Tipe Head	<i>Torispherical</i>	
Tebal Head (th)	0,3125 in	0,0079 m

Sf	3 in	0,076 m
Icr	3 in	0,076 m
Tinggi Head (OA)	11,53 in	0,29 m
Spesifikasi Plate	Top	Bottom
Downcomer Area, Ad (m ²)	0,1304	0,1404
Active Area, Aa (m ²)	0,9738	0,8889
Hole Area, Ah (m ²)	0,0974	0,0889
Hole Diameter, Dh (m)	0,005	
Tinggi Weir, hw (m)	0,05	
Tebal Plate (m)	0,005	
Jumlah Hole	4530	
Ukuran Pipa dan Nozzle		
Pipa Feed, NPS	1,5 in	
Pipa Liquid Keluaran Atas, NPS	1,25 in	
Pipa Refluks, NPS	0,25 in	
Pipa Liquid Keluaran Dasar Menara, NPS	0,5 in	

Adapun bentuk dari menara destilasi dapat dilihat dari Gambar 4.1 berikut ini :

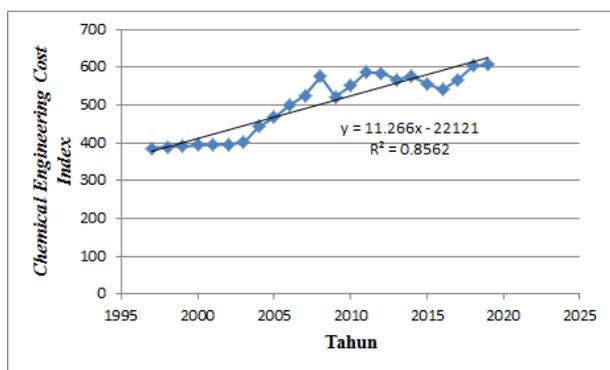


Gambar 4.1 Penampang Membujur Menara Distilasi

5. Analisa Kelayakan Ekonomi

5.1 Penaksiran Biaya Peralatan

Indeks harga merupakan suatu nilai *index* yang diberikan pada suatu waktu yang dapat menunjukkan harga atau nilai pada waktu tertentu. Harga peralatan pada tahun pendirian pabrik ditentukan dengan menggunakan indeks harga CEPCI (*Chemical Engineering Plant Cost Index*). Untuk mengetahui indeks harga pada tahun 2020, digunakan metode regresi *linear*, pada regresi ini diplotkan data nilai cost indeks dari tahun 1997-2019 yang dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Grafik Metode Regresi Linear

Dari grafik diperoleh persamaan linear sebagai berikut:

$$y = 11.266x - 22121 \dots\dots\dots(5.1)$$

Dengan memasukkan nilai *x*, maka diperoleh indeks pada tahun selanjutnya yang dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut :

Tabel 5.1 Cost Index Hasil Regresi Linear

Tahun	Indeks Harga
2020	636,32
2021	647,586
2022	658,852
2023	670,118
2024	681,384
2025	692,65

Sehingga didapatkan total harga peralatan Rp 62.226.784.899.

5.2 Total Capital Investment (TCI)

Total capital investment terdiri dari biaya pendirian pabrik (*Fixed Capital Investment*) dan biaya pengoperasian pabrik pada jangka waktu tertentu (*Working Capital Investment*). 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 Rp 234.417.188.255. WCI adalah jumlah biaya yang harus dikeluarkan setelah pabrik berdiri dan mulai beroperasi, seperti listrik, gaji karyawan, dana sosial dan sebagainya. Pada industri kimia perhitungan WCI yaitu 10-20 % dari total *capital investment*. Besarnya WCI pada pabrik ini adalah 15% dari *Total Capital Investment* (TCI) sebesar Rp 41.367.739.104. Sehingga didapatkan besarnya TCI Rp 275.784.927.359.

5.3 Analisa Profitabilitas

Dari data hasil penjualan produk dan total *production cost* akan menghasilkan laba kotor yang dihasilkan pada pabrik ini yaitu sebesar Rp 2.780.124.188.662,95 . Laba bersih dapat dihitung dengan selisih antara laba kotor dengan laba kotor setelah dikurangi pajak sebesar 35%. Beberapa parameter yang digunakan untuk mengetahui kelayakan dari suatu pabrik, yaitu :

- Percent Return On Investment* (ROI)
Return on investment adalah tingkat keuntungan yang dihasilkan dari investasi yang dikeluarkan untuk pembangunan suatu pabrik. *Return on investment* merupakan perkiraan keuntungan yang dapat diperoleh setiap tahun, didasarkan pada kecepatan pengembalian modal tetap (*fixed capital investment*) yang diinvestasikan. Pada pabrik DME ini diperoleh ROI setelah pajak sebesar 32,76%.

b. *Pay Out Time (POT)*

Pay out time adalah waktu pengembalian modal yang dihasilkan berdasarkan keuntungan yang dicapai. Perhitungan dilakukan dengan membagi *capital investment* dengan *profit* sebelum dikurangi depresiasi. *Pay out time* pada pabrik DME ini adalah selama 2,3 tahun.

c. *Total Production Cost (TPC)*

TPC (*Total Production Cost*) adalah sebesar Rp 202.749.641.647. Adapun dasar perhitungan diambil dari buku Peter dan Timmerhouse, 2003 sebagaimana dijelaskan pada Tabel 5.2 berikut ini :

Tabel 5.2 Perhitungan TPC

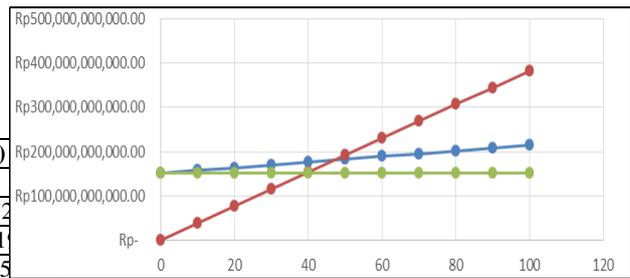
Indikator	Persamaan	Biaya (Rp)
Direct Production Cost (DPC)		
Raw Material		38.096.248.12
Operating Labor	OL	5.714.437.21
Direct Supervisory and Clearing Labor (DS)	15% dari OL	857.1653
Utilities	10 % TPC	20.274.964.165
Maintenance and Repairs (MR)	7% dari FCI	14.065.031.295
Operating Supplies	15% dari MR	2.109.754.694
Laboratory Charges	10% dari OL	571.443.722
Patent and Royalties	2% dari TPC	4.054.992.833
Total Direct Production Cost		85.744.037.638
Fized Change (FC)		
Financing	5% dari TCP	13.789.246.368
Deprisation	10% dari FCI	23.441.718.825
Local Taxes	2% dari FCI	4.688.343.765
Insurance	1% dari FCI	2.344.171.883
Total Fixed Charges	18%	44.263.480.841
Plant Overhead Cost (PO)	50% (OL+MR+DS)	9.889.734.257
Total Manufacturing Cost (MC)		139.897.252.736
General Expenses (GE)		
Administrative Costs	20% TPC	40.549.928.329
Distribution and Marketing Costs	8% TCP	16.219.971.332
Research and Development Costs	3% TPC	6.082.489.249
Total General Expenses		62.852.388.910

Nilai dari GE (*General Expenses*) didapat sebesar Rp 62.852.388.910. Kemudian nilai dari TPC (*Total Production Cost*) dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{TPC} &= \text{MC} + \text{GE} \\ \text{TPC} &= \text{Rp } 202.749.641.647 \end{aligned}$$

d. *Break Event Point (BEP)*

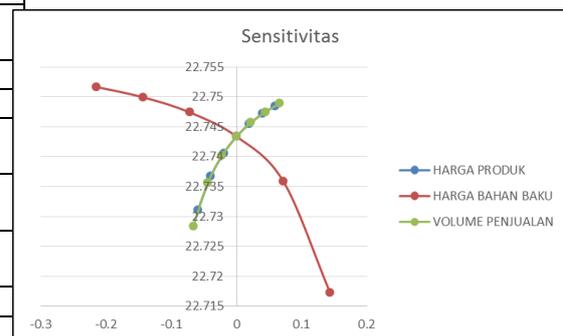
BEP adalah kondisi dimana jika pabrik berhasil menjual sebagian produk dari kapasitas produksinya, pabrik tidak mendapat keuntungan maupun kerugian. Titik impas pendapatan dan biaya produksi yang diperoleh dari kapasitas produksi. Pada pendirian pabrik ini pabrik akan mengalami keuntungan setelah pabrik memiliki kapasitas produksi diatas 47%, karena BEP diperoleh pada titik tersebut.



Gambar 5.2 Break Even Point (BEP)

e. *Analisa Sensitivitas*

Analisa sensitivitas bertujuan untuk mengetahui besarnya pengaruh perubahan persentase bahan baku, investasi, penjualan dan kapasitas produksi terhadap nilai *Internal Rate of Return (IRR)* dalam perhitungan ekonomi pra-rancangan pabrik ini dengan metode *trial and error*. Gambar 5.3 menunjukkan hasil pemplotan sensitivitas dengan variabel bahan baku, penjualan produk, harga produk serta gaji karyawan.



Gambar 5.3 Hasil Pemplotan Sensitivitas

Dari Gambar 5.3 diatas terlihat bahwa parameter volume penjualan, harga produk dan kapasitas pabrik berpengaruh terhadap ekonomi dari pabrik. Kapasitas pabrik dan harga produk memperlihatkan transe peningkatan yang tajam ketika terjadi perubahan kapasitas dan harga sedikit saja.

Sementara untuk volume penjualan juga memiliki trane peningkatan yang signifikan tetapi sedikit lebih landai dari dua lainnya.

6. Saran

Optimasi pemilihan seperti alat proses atau alat penunjang dan bahan baku perlu diperhatikan sehingga akan lebih mengoptimalkan keuntungan yang diperoleh.

DAFTAR PUSTAKA

- Aguayo dkk. 2007. Kinetic Modeling of Dimethyl Ether Synthesis in a Single Step on a CuO-ZnO-Al₂O₃/γ-Al₂O₃ Catalyst. *Ind Eng Chem Res.* 46. 5522-5530
- BPPT. 2018. Outlook Energi Indonesia. Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi (PPIPE): Jakarta.
- BPPT. 2011. Current Status Of Dimethyl Ether (DME) As Fuel In Indonesia.
- Badan Pusat Statistik. 2019.
- Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2016. Statistik Minyak dan Gas Bumi.
- Dewanti D.P. 2018. Potensi Selulosa dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Bahan Baku Bioplastik Ramah Lingkungan. *Jurnal Teknologi Lingkungan* 19(1): 81-88.
- Geankoplis, C.J. 1993. *Transport Process and Unit Operation Third Edition.* Prentice Hall International. USA
- Gibson, ID. 1996. *Organisasi: Prilaku, Struktur, Proses.* Jilid 1, 5th ed. Erlangga : Jakarta.
- Heryadi, R., A Uyun, E Yandri, S M Nur, K Abdullah. 2019. Single stage dimethyl ether plant model based on gasification of palm empty fruit bunch. *IC-Starr 2018*
- Inayat, A., C. Ghenai, M. Naqvi, M. Ammar, M. Ayoub, dan M Hussin. 2018. Parametric Study for Production of Dimethyl Ether (DME) As a Fuel from Palm Wastes. *Energy Procedia* (105), 1242-1249
- Joensen et al. 2015. *Process for the preparation of dimethyl ether.* US Paten 20150232401A1
- Kowel, J. 2013. Pengaruh Gpm Dan Roe Terhadap Market Value Pada Perusahaan *Food And Beverages* Yang Terdaftar Di Bei Tahun 2012. *Jurnal EMBA* 1(3):498-507
- Parbowo H.S, A Ardy, H Susanto. 2018. Techno-economic analysis of Dimethyl Ether production using Oil Palm Empty Fruit Bunches as feedstock. *1st Internasional Symposium of Indonesia Chemical Engineering (ISICChem).*
- Peter, MS., Timmerhause, KD., and West, RE. 2003. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers.* McGraw Hill Book Co : New York.
- Wang, T, Y. LI, L. MA, dan C. WU. 2011. Biomass to dimethyl ether by gasification/synthesis Technology—an alternative biofuel production route. *Front. Energy* 5(3): 330–339.
- Yaws, C.L. 1997. *Handbook of Chemical Compound Data for Process Safety.* Gulf Publishing Company. Texas
- Z. Azizi, M. Rezaeimanesh, T. Tohidian, M.R. Rahimpour. 2014. Dimethyl Ether: A Review of Technologies and Production Challenges, *Chemical Engineering and Processing* (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.cep.2014.06.007>