Prarancangan Pabrik Dimetil Eter dari TKS dengan Proses *Indirect Synthesis* dengan Disain Alat Utama Destilasi Metanol

Muthia Anugerah Fitri[1)], Panca Setia Utama[2)]
[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 : muthia.anugerah5908@student.unri.ac.id

ABSTRACT

The use of LPG as a gas fuel is still needed by the community in various sectors, where in the future the needs of the community will increase as the industry progresses. One of the alternative fuels that can be developed as LPG substitution is Dimethyl Ether. Dimethyl Ether is produced through the process of synthesis and dehydration of methanol from natural gas. Natural gas is a natural resource that can not be renewed, so there are alternative raw materials that are renewable, one of which is empty palm bunches. The plant is planned to operate for 330 days per year and work continuously for 24 hours / day with a capacity of 50,000 tons / year to be established in Dumai, Riau. The main equipment design at the plant is methanol distillation operated at a pressure of 1 atm and feed temperature of 72,58^{0}C. Economic analysis of the plant's design shows that the ether dimethyl of empty palm bunches is feasible to be established with the profit the factory gets after tax is Rp. 90.354.036.131/year and payback period of 2,29 years

Keywords : *Dimethyl Ether, Economic Analysis, LPG, Natural Gas, Plant Design*

1. PENDAHULUAN

Dimetil eter merupakan senyawa kimia dengan formula C_2H_6O, berbentuk gas yang dapat dicairkan. Dalam wujud cair, dimetil eter menjadi lebih mudah dan aman untuk dipindahkan. Dimetil eter disintesiskan dari metanol yang dapat diproduksi dari bahan baku biomassa. Dimetil eter termasuk bahan bakar ramah terhadap lingkungan, karena senyawa kimianya sudah bersih dari unsur sulfur dan nitrogen, sehingga emisinya lebih rendah dan tidak bersifat korosif. Pada kondisi suhu lingkungan dan tekanan atmosfer berwujud gas tak berwarna yang mempunyai sifat menyerupai propana (C_3H_8) dan LPG.

Produksi 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 dimanfaatkan dengan optimal. 1 ton tandan kosong kelapa sawit (TKS) mengandung 0,7 ton ijuk, 0,3 ton inti sawit dan 0,3 ton cangkang sawit, dengan total biomassa sawit adalah 2,3 ton. Tandan buah segar menghasilkan 22,5% CPO dan 23% TKS. Jumlah TKS di Riau pada tahun 2020 diperkirakan sebanyak 9.992.909 ton.

Pemanfaatan LPG sebagai bahan bakar gas masih sangat dibutuhkan oleh masyarakat dalam berbagai sektor, dimana masa yang akan datang kebutuhan masyarakat akan mengalami peningkatan seiring kemajuan industri. Salah satu bahan bakar alternatif yang dapat dikembangkan sebagai substitusi LPG adalah Dimetil Eter. Dimetil eter memiliki monostruktur kimia yang sederhana (CH_3-O-CH_3), berbentuk gas pada (suhu

lingkungan) dan dapat dicairkan seperti halnya *Liquefied Petroleum Gas* (LPG).

Dimetil Eter 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 TKS.

2. DESKRIPSI PROSES

Reaksi pembentukan Dimetil Eter dari TKS melalui beberapa tahapan yaitu proses *pre-treatment* bertujuan untuk mengatur ukuran EFB sehingga bahan memiliki ukuran yang sesuai sehingga dapat mengurangi kebutuhan energi di *gasifier*. Proses *pre-treatment* terdiri dari beberapa proses yaitu *granulator*, *dryer*, *hammermill*, dan *pelletizer*.

Proses gasifikasi TKS dilakukan di *gasifier Circulating Fluidized Bed* (CFB). *Gasifier* menggunakan *Steam*–Udara sebagai oksidan. Komposisi *syngas* sebagai hasil gasifikasi dihitung berdasarkan reaksi kesetimbangan. Kondisi proses selama reaksi gasifikasi diasumsikan isotermal Dari CFB gasifier, *outlet syngas* didinginkan hingga 400^{o}C, sebelum memasuki reaktor *Water Gas Shift* (WGS) untuk menyesuaikan rasio H_2 / CO sama dengan 1 untuk persyaratan sintesis metanol (Heryadi dkk., 2019).

Pemisahan Partikel dan Gas di *Cyclone Separator*. Siklon (*cyclone*) adalah alat pemisah partikel dengan gas. Siklon sering digunakan sebagai alat pengontrol polusi udara dari debu.

Pengaturan Rasio H_2/CO di Reaktor *Water Gas Shift* . Produk gas dari reaktor gasifikasi yang terdiri dari H_2 dan CO dimasukkan ke dalam reaktor *water gas shift* (WGS) untuk mengatur rasio molar H_2 / CO. Temperatur reaksi adalah pada 215^{o}C dan tekanan 10 bar. Jenis reaktor yang digunakan adalah reaktor *fixed bed*.

Pembentukan Metanol di Reaktor *Methanol Synthesis.* Proses yang terjadi di reaktor sintesis metanol adalah hidrogenasi karbon monoksida (CO) dan karbondioksida (CO_2) menjadi metanol berlangsung secara eksotermis pada suhu 220-300ºC dan tekanan 50-100 bar dalam reaktor *fixed bed multitube*. Kondisi reaktor adalah *non isotermal* dan *non adiabatic*.

Pemisahan Gas-Cair di *Flash Drum Separation.* Campuran gas, metanol, air dan DME dipisahkan di flash drum adiabatik (atau pemisah gas-cair). Suhu operasi yang digunakan adalah 60^{o}C dan tekanan 1 bar.

Pembentukan DME di Reaktor DME. Reaktor utama tempat terjadinya reaksi pembentukan Dimetil Eter adalah reaktor DME R-101 dengan jenis *fixed-bed multitube*. Kondisi operasi reaktor DME adalah suhu 250^{o}C dan tekanan 5 bar, dengan tinggi reaktor 9,6 meter. Reaktor *fixed-bed* bebentuk silinder tegak dengan tutup atas dan bawah *torisperical flanged dished head* berbahan dasar *Carbon steel* SA-167 *Grade* 11 *Type* 316.

Pemisahan dan Pemurnian di Unit Distilasi. Produk dari reaktor DME yang mengandung DME, metanol, dan air memasuki menara distilasi DME. Distilasi dalam menara DME digunakan untuk memisahkan DME sebagai produk teratas dengan Metanol dan air sebagai produk dasar. Suhu operasi pada menara distilasi ini adalah 48,16^{o}C dengan tekanan 9 atm. Jenis tray yang digunakan adalah sieve tray dengan bahan konstruksi jenis Carbon Steel SA 283 Grade C, dengan tinggi kolom destilasi adalah 10,97 m. Produk bawah dari distilasi DME adalah metanol dan air. Komponen metanol dan air dipisahkan di distilasi metanol dengan kemurnian metanol mencapai 90% yang akan di *recycle* kembali ke reaktor DME. Suhu distilat dan bottom pada distilasi metanol adalah 95^{0}C dan 71^{0}C dengan tekanan operasi 1 atm. Material yang digunakan carbon steel SA-283 Grade C. Tinggi menara distilasi metanol adalah 5 m. Tray yang digunakan yaitu *sieve tray.*

3. METODOLOGI

Langkah dalam menentukan kelayakan ekonomi pabrik DME adalah membuat *process flow diagram.* Kemudian, dilanjutkan dengan perhitungan neraca massa dan energi pada setiap unit, perhitungan jaringan alat penukar panas dan massa serta perhitungan dan disain setiap unit utama dan utilitas yang akan digunakan sehingga diperoleh kapasitas setiap unit untuk penentuan harga alat yang digunakan sebagai perhitungan ekonomi dan kelayakan ekonomi.

Perhitungan ekonomi dan kelayakan ekonomi meliputi perkiraan biaya pembangunan pabrik, 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). Melakukan analisis sensitivitas untuk mengetahui faktor-faktor yang secara signifikan mempengaruhi kelayakan proyek. Analisis dilakukan terhadap variabel-variabel: harga bahan baku, harga produk, penjualan, dan gaji karyawan. Prosedurnya adalah memvariasikan nilai suatu variabel dengan menjaga variabel-variabel lainnya tetap (*ceteris paribus*) untuk melihat kecenderungan pengaruhnya terhadap keuntungan serta nilai maksimal atau minimalnya agar hasil operasional pabrik memberikan IRR lebih besar dari minimum.

4. DISAIN DESTILASI METANOL

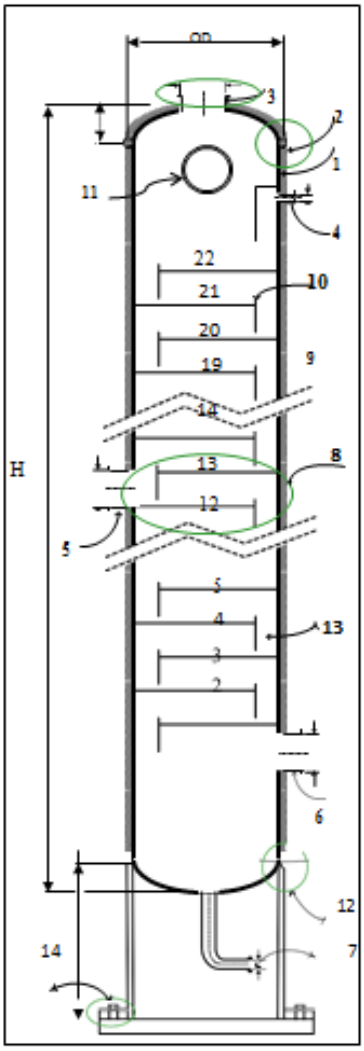
Dalam perancangan pabrik Dimetil Eter, proses pemisahan dan pemurnian menjadi tahapan yang penting untuk mendapatkan produk utama yaitu Dimetil Eter. Salah satu alat pemisahan pada pabrik Dimetil Eter adalah Distilasi Metanol. Metanol merupakan komponen utama dalam pembuatan Dimetil Eter. Proses pembuatan Dimetil Eter dengan *direct synthesis.* Metanol yang dihasilkan di Reaktor Dimetil Eter yang belum bereaksi dilakukan pemisahan. Metanol yang telah dipisahkan di *recycle* ke Reaktor Dimetil Eter.

Adapun spesifikasi hasil perancang-an Destilasi Metanol (ST-105) ditampilkan pada Tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4.1 Spesifikasi Menara Destilasi

Kolom Distilasi III	Kode : S-105 Fungsi : Memisahkan Metanol dengan Air
DATA IDENTIFIKASI	
Jenis Operasi	*Continuous*
Tipe	*Sieve Tray Colomn*
KONDISI OPERASI	
Tekanan Operasi (atm)	1
Temperatur top menara (^oC)	71,09
Temperatur dasar menara (^oC)	95,55
Temperatur umpan (^oC)	72,58
Laju alir umpan (kg/jam)	720,5846
Laju alir destilat (kg/jam)	490,1228
Laju alir bottom (kg/jam)	230,4618
MATERIAL DAN DISAIN	
SHELL	
Diameter (m)	2,92
Material	*Carbon Steel SA 283*
Allowable Stress (psi)	13700
Jenis sambungan	*Double welded butt joint*
Efisiensi sambungan (%)	80%
Faktor korosi (in)	0,125
Tebal *shell* (in)	3/8
Tebal *Head* (in)	5/16
Total tinggi menara (in)	192,46
PLATE	
Luas area netto (m^2)	6,32
Hole area (cm^2)	0,635
Tinggi *weir* (mm)	50
Tebal *plate* (m)	0,005
Tipe aliran cairan	*Double Pass*
Jumlah *Hole*	30316
Waktu Tinggal (s)	12,8

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



Gambar 4.1 Detail Menara Destilasi

Spesifikasi dari alat pendukung menara destilasi dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut ini :

Tabel 4.2 Spesifikasi Alat Pendukung

Ukuran Pipa dan *Nozzle*		
Pipa *Feed*, NPS	0,5 in	
Pipa Keluaran Atas, NPS	0,375 in	
Pipa keluaran bawah, NPS	0,25 in	
Pipa Refluks, NPS	0,375 in	
Anchor Bolt		
Jumlah baut	8 buah	
Area Bolt	0,69 in^2	0,0004387 m^2
Bolt Size	1,125 in	0,0285 m
Faktor Korosi	0,125 in^2	0,0000806 m^2
I_2 dan I_3	1,5 in dan 1,125 in	0,0381 m dan 0,0285 m

5. ANALISA EKONOMI

Analisa ekonomi terhadap perancangan pabrik dilakukan untuk mengetahui kelayakan pabrik tersebut untuk didirikan. Dalam mendirikan pabrik, dibutuhkan *plant cost estimation* dan *production cost estimation. Plant cost estimation* merupakan perkiraan ekonomi pendirian suatu pabrik hingga pabrik tersebut beroperasi. Biaya ini termasuk *Fixed Capital Invesment* (FCI) dan *Working Capital Invesment* (WCI). Pada industri kimia perhitungan WCI yaitu 10-20% dari *Total Capital Investment* (Peters et al, 2003).

Total capital investment terdiri dari biaya pendirian pabrik (*Fixed Capital Investment*) dan biaya pengoperasian pabrik pada jangka waktu tertentu (*Working Capital Investment*). WCI adalah jumlah biaya yang harus dikeluarkan setelah pabrik berdiri dan mulai beroperasi, seperti listrik, gaji karyawan, dana sosial dan sebagainya. Yang termasuk *Plant cost estimation* seperti biaya peralatan utama, biaya instalasi, biaya listrik serta. Berdasarkan hasil perhitungan yang ditampilkan pada Tabel 4.1, diperoleh FCI sebesar Rp 234.417.188.255, WCI sebesar Rp 41.367.739.104 dan TCI atau *plant cost estimation* sebesar Rp 275.784.927.359.

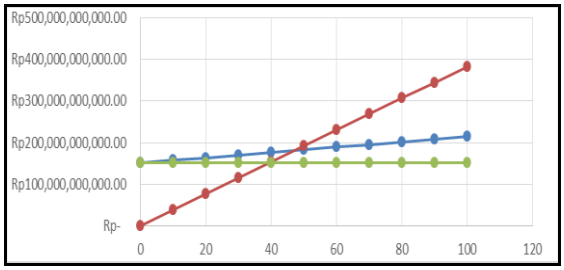
Production cost estimation adalah keseluruhan biaya yang dikeluarkan pada pengolahan bahan baku menjadi bahan jadi dan sampai produk berada di pasar. Total biaya produksi terdiri dari *manufacturing cost, fixed charge,* dan *plant overhead cost* (Peters et al, 2003). TPC (*Total Production Cost*) adalah sebesar Rp 202.749.641.647. Adapun dasar perhitungan diambil dari buku Peter dan Timmerhouse, 2003. Adapun hasil perhitungan total biaya produksi ditampilkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Perhitungan TPC

Indikator	Persamaan	Biaya (Rp)
Direct Production Cost (DPC)		
Raw Material		38.096.248.127
Operating Labor	OL	5.714.437.219
Direct Supervisory and Clearing Labor (DS)	15% dari OL	857.165.583
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
Fixed Change (FC)		
Financing	5% dari TCI	13.789.246.368
Deprisiation	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)		138.897.252.736
General Expenses (GE)		
Administrative Costs	20% TPC	40.549.928.329
Distribution and Marketting Costs	8% TPC	16.219.971.332
Research and Development Costs	3%TPC	6.082.489.249
Total General Expenses		62.852.288.910

Kelayakan suatu pabrik dapat dilihat dari laba yang diperoleh, *payback period* (PBP), *Break Event Point* (BEP) dan *Return On Invesment* (ROI). *Payback period* menunjukkan seberapa cepat proyek dapat mengembalikan investasi. *Payback Period* pabrik ini yaitu selama 1,8 tahun. Nilai ini menunjukan bahwa pabrik dimetil eter layak untuk didirikan karena pengembalian modal kurang dari 5 tahun masa operasi.

BEP adalah kondisi dimana jika pabrik berhasil menjual sebagian produk dari kapasitas produknya, 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 50%, karena BEP diperoleh pada titik tersebut.



Gambar 5.1 *Break Even Point* (BEP)

Pada pabrik ini nilai BEP yang diperoleh sebesar 38%. *Return On Invesment* (ROI) merupakan perkiraan tingkat keuntungan yang dapat diperoleh setiap tahun berdasarka pada kecepatan pengembalian modal tetap yang diinvestasikan. Nilai ROI yang diperoleh pada pabrik dimetil eter ini adalah 32,76%.

6. KESIMPULAN

Pemanfaatan LPG sebagai bahan bakar gas masih sangat dibutuhkan oleh masyarakat dalam berbagai sektor, dimana masa yang akan datang kebutuhan masyarakat akan mengalami peningkatan seiring kemajuan industri. Salah satu bahan bakar alternatif yang dapat dikembangkan sebagai substitusi LPG adalah Dimetil Eter. Pabrik Dimetil Eter dari Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan kapasitas 50.000 ton/tahun akan didirikan di Pelintung, Kecamatan Medang Kampai, Dumai. Pembentukan DME dari TKS melalui beberapa tahapan yaitu *pretreatment*, gasifikasi, pemisahan partikel dan gas, pengaturan rasio H_2/CO, pembentukan metanol, pemisahan gas-cair, pembentukan DME, pemisahan dan pemurnian. Disain alat utama pada skripsi perancangan pabrik ini adalah distilasi metanol dengan tipe *sieve tray distillation*. Umpan masuk pada suhu 72^{o}C dengan tekanan 1 atm. Modal investasi pabrik terdiri dari FCI dan WCI. *Break even point* diperoleh sebesar 38% dan ROI 32%.

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..

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 ongasification 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 (ISIChem).*

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*