

Pra Desain Pabrik DME (Dimetil Eter) dari Gas Alam

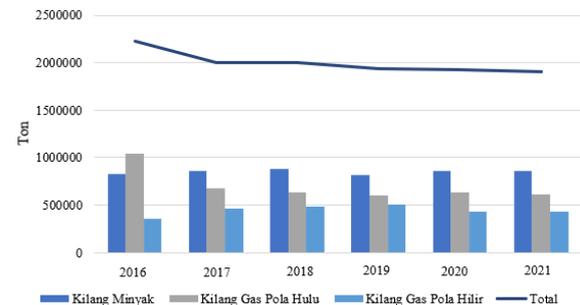
Arnita Putri Madani, Karina Hidayah, Juwari, dan Rendra Panca Anugraha
Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: juwari@chem-eng.its.ac.id

Abstrak—Keresahan masyarakat terhadap harga minyak tanah dan tingginya kebutuhan energi dalam negeri menjadi latar belakang berdirinya pabrik DME ini. Kebutuhan LPG yang tidak diimbangi dengan produksi LPG yang sesuai, mendorong adanya pengembangan energi alternatif, yaitu DME. Keberadaan DME sebagai bahan bakar alternatif ini, diharapkan dapat menekan angka impor kebutuhan LPG di Indonesia yang mencapai hampir 50% dari total kebutuhan produksi. Ketersediaan bahan baku gas alam yang cukup melimpah di Indonesia sekiranya cukup untuk memproduksi DME sebagai bahan bakar alternatif. Bahan baku utama yang digunakan dalam proses pembuatan DME ini adalah gas alam yang sudah diolah dan bebas kandungan sulfur. Bahan baku lain berupa oksigen, steam dan recycle CO₂ digunakan dalam pabrik ini. Kapasitas produksi DME pada pabrik ini sebesar 950.000 ton/tahun. Kapasitas ini didasarkan pada kebutuhan energi total di Indonesia dengan harapan DME blending dengan LPG pada rasio 20:80. Dalam pemenuhan kapasitas tahunan, pabrik beroperasi secara kontinyu selama 24 jam/330 hari. Bahan baku gas alam yang dibutuhkan untuk memenuhi kapasitas pabrik tahunan tersebut adalah 44.488 ton/tahun. Pabrik DME ini dibuat menggunakan metode direct synthesis process. Proses pabrik ini secara keseluruhan meliputi unit reforming, unit sintesa DME dan unit purifikasi. Dengan desain umur pabrik selama 10 tahun, didapatkan Internal Rate of Return (IRR) sebesar 14,02% yangmana nilainya lebih besar dari bunga pinjaman bank sebesar 7,95% sehingga mengindikasikan pabrik layak untuk didirikan. Didapatkan juga Pay Out Time selama 5 tahun 5 bulan dengan BEP 38%.

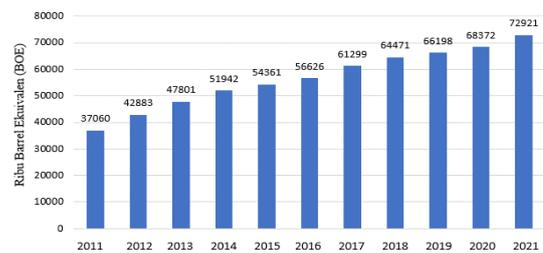
Kata Kunci—DME, Gas Alam, Direct Process, LPG.

I. PENDAHULUAN

PERALIHAN minyak tanah menuju LPG pada tahun 2007 telah memberikan dampak positif kepada masyarakat Indonesia yang kian resah dengan kenaikan minyak tanah pada saat itu. Namun, ternyata program konversi ini tidak selamanya berdampak positif, dimana konsumsi LPG mengalami kenaikan yang sangat drastis tanpa diiringi dengan produksi LPG yang setara dengan konsumsinya. Berdasarkan data Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), produksi LPG diperkirakan akan baru stabil sekitar 1.97 ton per tahun pada 2020-2024, yangmana produksi tersebut hanya sekitar 50,8% dari kapasitas produksi LPG yang ada sebesar 3,88 juta ton. Total hasil produksi LPG di Indonesia semakin menurun setiap tahun. Produksi di tahun 2021 menurun 0,99% dari produksi di tahun 2020 dan turun 14,53% dari produksi di tahun 2016 seperti tertera pada Gambar 1. Penurunan angka produksi ini disebabkan oleh terbatasnya bahan baku dari dalam negeri akibat penurunan jumlah gas yang diperoleh dari sumur minyak dan gas, juga belum ditemukannya sumur minyak dan gas baru untuk menambah angka produksi minyak dan gas di Indonesia. Menurut Data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) sebagaimana tertera pada Gambar 2, konsumsi LPG



Gambar 1. Jumlah produksi LPG Indonesia tahun 2016-2021.

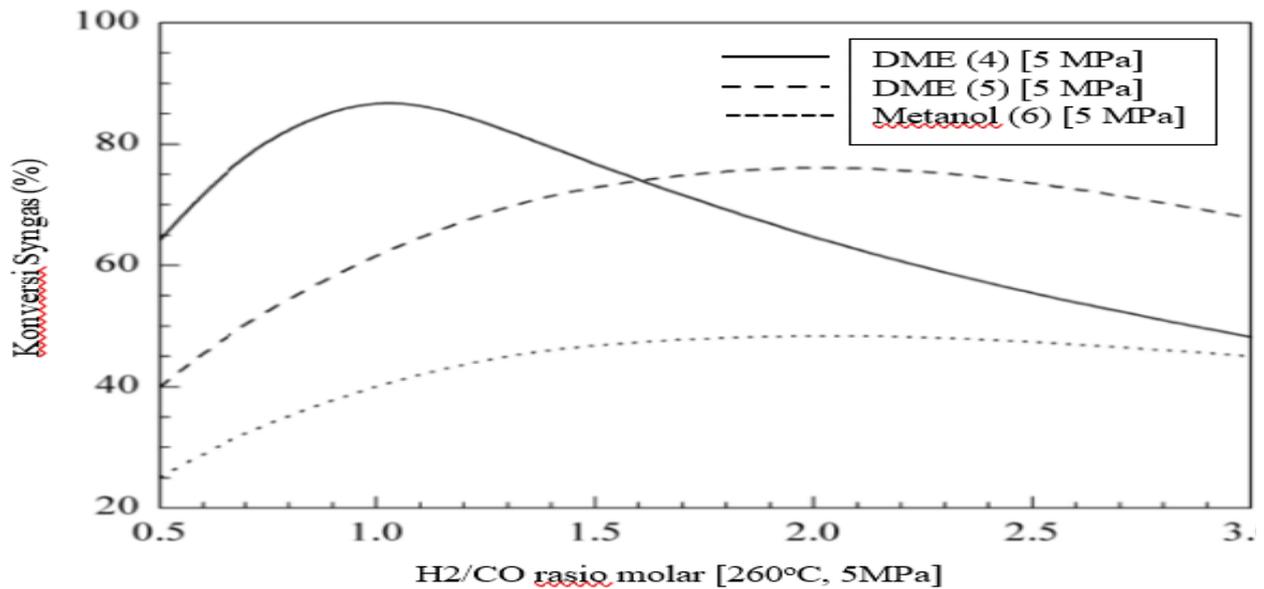


Gambar 2. Jumlah konsumsi LPG di Indonesia

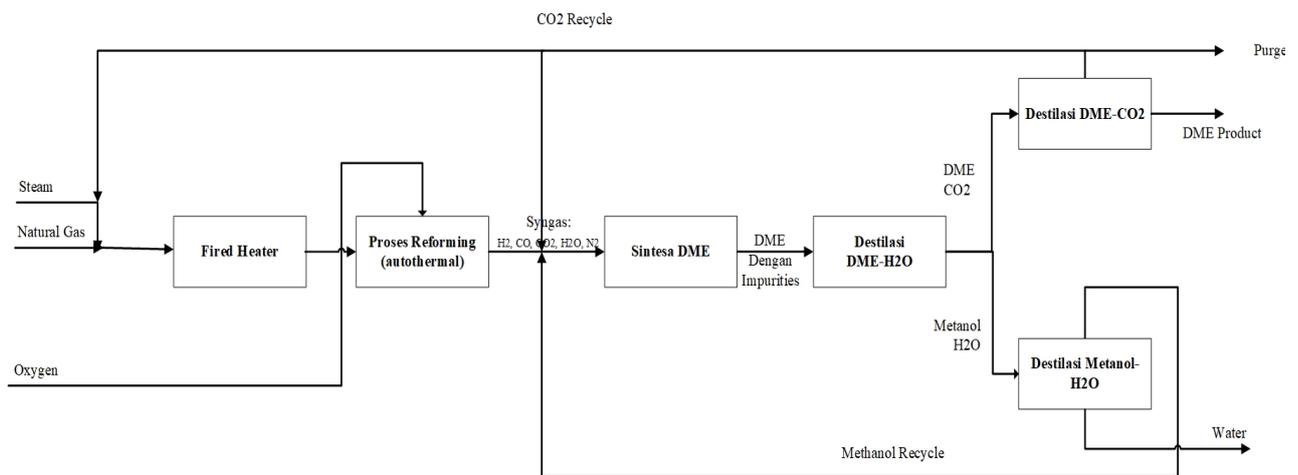
di Indonesia mencapai 72,92 juta barel dan konsumsi ini naik 4,74% dibandingkan pada tahun sebelumnya. Konsumsi LPG di Indonesia ini penggunaannya banyak digunakan untuk rumah tangga sebesar 69,93 juta BOE (*Barrel Oil Equivalent*) pada 2021, untuk komersial sebanyak 1,94 juta BOE dan untuk sektor industri, yangmana paling rendah diantaranya, mencapai 1,06 juta BOE.

Ketimpangan antara produksi dan kebutuhan domestik ini, mengakibatkan terjadinya defisit yang menyebabkan harus dilakukannya impor tersebut untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Pada tahun 2021 jumlah impor LPG Indonesia mencapai 6,3 juta ton atau dengan kata lain 75% kebutuhan LPG dalam negeri dicukupi melalui impor. Berdasarkan alasan-alasan diatas, dapat disimpulkan bahwa Indonesia membutuhkan tambahan produksi LPG atau bahan bakar alternatif untuk dapat menggantikan bahan bakar lain yang mengalami proses penurunan produksi dalam negeri dan untuk mengurangi jumlah impor bahan bakar. Salah satu bahan bakar alternatif yang dapat digunakan di Indonesia adalah *Dimethyl Ether* (DME).

Menurut Boedoyo, pencampuran LPG dengan 20 wt% DME memberikan performa terbaik tanpa harus mengganti regulator ataupun kompor yang sebelumnya menggunakan bahan bakar LPG [1]. Pencampuran antara DME dan LPG ini disebut dengan *blending*. Implementasi *blending* LPG-DME ini telah dilakukan di Negara China. Perlakuan *blending* ini diharapkan dapat menekan angka impor LPG yang cukup besar di Indonesia. Penggunaan bahan bakar DME sebagai bahan bakar alternatif rumah tangga secara keseluruhan atau



Gambar 3. Konversi pada kesetimbangan proses sintesis gas terhadap rasio H₂/CO.



Gambar 4. Blok diagram pembuatan dimetil eter (DME) dari gas alam dengan metode *direct process*.

dalam kata lain menggantikan LPG masih kurang efisien jika diimplementasikan, dikarenakan nilai heating value dari DME lebih kecil dibandingkan LPG, sehingga untuk memproduksi sesuai kebutuhan energi nasional, diperlukan bahan baku yang jauh lebih besar daripada saat memproduksi LPG. Karena itu, dilakukan opsi *blending* ini sebagai penekan angka impor LPG di Indonesia. Beberapa keuntungan dari *blending* ini pun ada, yaitu memenuhi permintaan akan bahan bakar yang bersih, pembakaran pada *blending* DME-LPG memiliki karakteristik yang lebih ramah lingkungan, dimana DME tidak mengandung sulfur dan nitrogen yang dapat menghasilkan sulfur dioksida (SO₂) dan Nitrogen Oksida (NO_x), sedangkan LPG mengandung sulfur dan nitrogen [2].

Dimethyl Ether (DME) merupakan senyawa eter yang paling sederhana dengan rumus kimia CH₃OCH₃. DME berbentuk gas tidak berwarna, berbau eter dan larut dalam air maupun minyak, serta tidak bersifat karsinogenik, teratogenik, mutagenik dan tidak beracun. DME dapat diproduksi dari berbagai sumber bahan baku seperti gas alam, *fuel oil*, batubara, dan biomassa [3].

Penggunaan bahan baku gas alam dipilih pada pembuatan pabrik ini setelah ditinjau dari beberapa aspek yang tertera pada Tabel 1. Data Kementrian Energi dan Sumber Daya

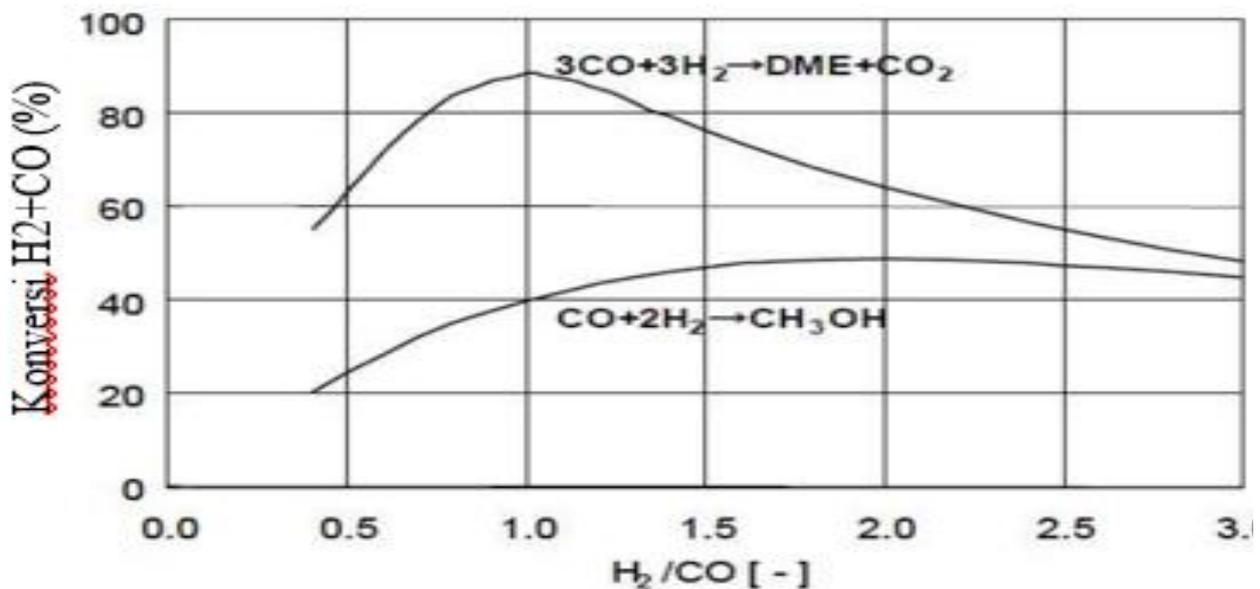
Mineral Indonesia, cadangan gas alam di Indonesia terbukti sebesar 108 TCF (*Trillion Cubic Feet*) pada akhir 2020, sementara cadangan batu bara terbukti sekitar 32 miliar ton pada akhir 2020.

Penggunaan DME sebagai bahan bakar dikarenakan karakteristiknya yang memiliki nilai *cetane* yang tinggi, sehingga sifat pembakarannya akan sama seperti bahan bakar lain [4]. Kegunaan DME selain sebagai bahan bakar adalah diantaranya sebagai bahan pembuat aerosol pada produk seperti semprotan cat, yang mana banyak digunakan oleh beberapa perusahaan cat di Indonesia.

Secara garis besar, DME dapat diproduksi melalui dua tahap sintesa. Tahap pertama, yaitu menggunakan metode *indirect process* (metode tidak langsung) dan tahap kedua, yaitu *direct process* (metode langsung). Bahan baku dari proses sintesa DME ini adalah *syngas*. Berikut ini adalah penjelasan mengenai proses sintesa langsung dan tidak langsung.

A. *Proses Tidak Langsung*

Proses pembentukan DME secara tidak langsung terbagi menjadi dua tahap reaksi, dimana tahap pertama merupakan pembentukan sintesa methanol dan tahap kedua dehidrasi metanol untuk pembentukan DME. Proses sintesa metanol



Gambar 5. Kurva kesetimbangan konversi DME terhadap rasio syngas.

beroperasi pada temperatur 180-270°C dengan tekanan 8-10 MPa. Konversi pada tahap pertama berupa 38%. Proses dehidrasi metanol beroperasi pada 30 0-340°C dengan tekanan 1-2 MPa. Konversi pada tahap kedua ini sebesar 70% dengan hasil reaksi samping berupa air. Reaksi proses tidak langsung secara rinci sebagai berikut:

Reaksi Pembentukan Metanol:



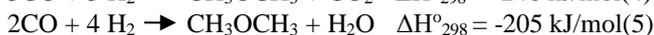
Reaksi Dehidrasi Metanol:



Jenis reaktor yang digunakan pada proses ini, untuk tahap sintesa metanol menggunakan *phase fixed reactor* dan untuk tahap dehidrasi metanol menggunakan *fixed bed reactor*. Reaksi pembentukan metanol dan dehidrasi metanol dilakukan pada dua reaktor yang berbeda.

B. Proses Langsung

Proses pembentukan DME secara langsung melalui tahap sintesa metanol, dehidrasi metanol dan reaksi *water gas shift* dalam satu reaktor. Kondisi operasi pada proses langsung ini berjalan pada kondisi temperature 250°C dan tekanan 5 MPa dengan konversi sebesar 90%. Jenis reaktor yang biasa digunakan pada proses langsung diantaranya adalah reaktor slurry, reaktor *fixed bed* dan reaktor *fluidized bed*. Reaksi yang terjadi pada proses ini sebagai berikut.



Persamaan (4) dan (5) melibatkan 3 reaksi dasar meliputi:

Reaksi sintesa metanol dari *syngas*



Reaksi dehidrasi metanol



Reaksi *water gas shift* (WGS)



Reaksi (4) memiliki keunggulan proses dibandingkan reaksi (5), karena pada reaksi (4), reaksi (8) secara bersamaan mengkonversi produk samping dari reaksi berupa air, sehingga air tidak menumpuk pada katalis yang digunakan dalam proses sintesis ini, karena akumulasi air dapat

menyebabkan deaktivasi katalis. Konversi bahan baku syngas pada reaksi (4) dan (5) tertera pada Gambar 3.

Pada kedua metode diatas, prosesnya menggunakan katalis. Katalis yang dapat digunakan adalah alumina dan asam sulfat. Namun, penggunaan katalis alumina lebih banyak digunakan karena tidak bersifat korosif [5].

II. URAIAN PROSES

Pemilihan proses sintesa DME menggunakan metode AHP (*Analytical Hierarchy Process*) dengan *Tringular Fuzzy Number* menggunakan matriks untuk pembobotan dan diperoleh proses sintesa secara langsung. Seperti yang telah dijelaskan diatas, bahwa proses sintesa DME secara langsung terjadi dalam satu reaktor dengan proses yang terurai didalamnya berupa sintesa metanol, dehidrasi metanol dan *water gas shift*. Sebelum proses sintesa DME, bahan baku gas alam diproses terlebih dahulu pada unit reforming untuk membentuk *syngas*. Bahan baku gas alam diperoleh dari PT. Pertamina Hulu Mahakam di Kalimantan Timur, sebagaimana tempat pabrik ini dibangun. Bahan baku gas alam berada pada kondisi temperatur 30°C, 23 bar. Tahapan proses pembuatan DME secara sederhana dapat dilihat pada Gambar 4.

Tahapan proses pembuatan DME ini didasarkan menggunakan lisensor KOGAS dengan proses sintesa langsung.

A. Tahap Reforming

Pada tahap reforming terjadi pembentukan syngas (CO dan H₂) yang akan digunakan sebagai bahan baku sintesa DME. Jenis reformer yang digunakan adalah *autothermal reformer* dengan kombinasi *dry reforming*. Autothermal reformer merupakan kombinasi antara *partial oxidation* (POX), dengan bahan baku oksigen dan *steam reforming* (SMR), dengan bahan baku *steam*. Pada *dry reforming*, CO₂ dibutuhkan agar proses *reforming* dapat berjalan. Jadi, pada tahapan *reforming* ini, dibutuhkan bahan baku gas alam, *steam*, oksigen dan CO₂. Kombinasi kedua tipe *reforming* ini bertujuan untuk mendapatkan rasio H₂/CO sebesar 1.

Tabel 1.
Perbandingan Bahan Baku Gas Alam dan Batu Bara

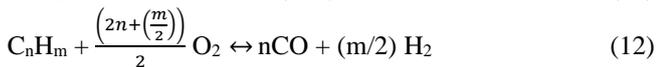
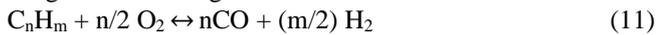
	Gas Alam	Batu Bara
Proses	Reforming- DME Sintesis- Purifikasi- DME	<i>Pre-treatment-Gasifikasi-CO₂Removal-Sintesa DME - Purifikasi- DME</i>
Karbon	60-90%	> 70% berat kering
Nilai Kalori	9.424 kkal/m ³	4.100 kkal/g
Aspek Lingkungan	Gas alam tidak melepaskan partikel debu/asap saat digunakan	Batu bara melepaskan partikel debu hitam
Aspek Ekonomi	Biaya produksi lebih rendah	Biaya produksi lebih tinggi (proses lebih kompleks)

Sebelum memulai tahap reforming, seluruh bahan baku kecuali oksigen dan CO₂ dipanaskan terlebih dahulu pada *fired heater* untuk didapatkan temperatur sebesar 800°C dengan tekanan 23 bar untuk kemudian masuk *reformer*. Oksigen juga dinaikkan temperaturnya menggunakan heater hingga mencapai suhu 150°C, 23 bar. Oksigen dan CO₂ dipisah dari bahan baku lain dikarenakan pada tahap reforming ini terbagi menjadi dua tahap, yaitu proses tanpa katalis dan dengan bantuan katalis. *Dry reforming* dan POX tidak menggunakan katalis pada prosesnya dan prosesnya terjadi dibagian atas reaktor. Katalis yang digunakan untuk proses SMR adalah NiO/MgO berbentuk *raschig ring*.

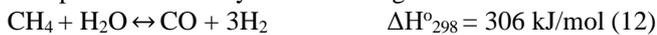
Reaksi yang terjadi pada POX bersifat eksotermis dan terurai sebagai berikut [6].



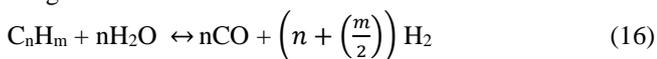
Hidrokarbon dengan rantai yang lebih tinggi akan bereaksi dengan reaksi sebagai berikut.



Pada proses SMR terjadi reaksi metana dengan *steam* berkondisi operasi sekitar 800-1000°C. Pada SMR memungkinkan terjadinya terbentuk reaksi *boudard* (14), reaksi ini dapat menyebabkan terbentuknya *coking*. Untuk mencegah *coking*, diberikan surplus *steam* pada *feed reformer* (15). Sehingga pada pabrik ini diasumsikan bahwa reaksi *boudard* tidak terjadi karena rasio mol *steam* diatur cukup besar. Reaksinya terurai sebagai berikut.



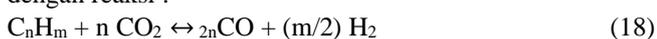
Hidrokarbon dengan rantai yang lebih tinggi akan bereaksi dengan reaksi.



Untuk proses *dry reforming*, CO₂ diperoleh dari *recycle* pada kolom distilasi, untuk perhitungan awal pabrik dianggap sudah dalam keadaan *steady state*. Reaksi terurai sebagai berikut.



Hidrokarbon dengan rantai yang lebih tinggi akan bereaksi dengan reaksi :



Proses reforming dibagi kedalam tiga zona, antara lain:

Tabel 2.
Standar Spesifikasi Produk DME Berdasarkan ISO/DIS 16861

Karakteristik	Limit	Spesifikasi
Komposisi (% wt)		
Dimethyl Ether	min	98,5
Methanol	max	0,05
Water	max	0,03
Hydrocarbon (up to C ₄)	max	1
CO ₂	max	0,1
CO	max	0,01
Methyl Formate	max	0,05
Ethyl methyl ether	max	0,2
Residue after evaporation	max	0,007
Sulfur	max	3

Tabel 3.
Neraca Massa Total Pabrik DME dari Gas Alam

Masuk		Keluar	
Komponen	Massa(kg/j)	Komponen	Massa(kg/j)
Gas Alam	121.888,359	Produk DME	107.802,117
Steam	164.820,154	Air	212.600
Oksigen	132.463,507	Purge syngas	98.660

1) The Burner

Dua aliran feed yang terdiri dari aliran campuran gas alam dan oksigen. Aliran oksigen memasuki reaktor melalui burner yang dipasang di bagian atas reaktor dimana kedua aliran tersebut tercampur dalam *turbulent diffusion flame*.

2) The Combustion Zone

Zona ini adalah zona *turbulent diffusion flame* dimana hidrokarbon dan oksigen secara bertahap tercampur dan bereaksi. Reaksi pembakaran oksigen terjadi sebagai proses substoikiometrik dengan rasio keseluruhan oksigen dengan hidrokarbon antara 0,55-0,6. Pada zona ini reaksi eksotermik POX terjadi dalam dua tahap dimana reaksi (10) metana menjadi karbon dioksida dan air akan terjadi lebih dulu. Setelah air yang terproduksi mencapai jumlah maksimumnya, metana akan bereaksi dengan sisa oksigen untuk membentuk *syngas* dengan reaksi (9) [7]. Kemudian pada akhir zona ini reaksi (12) (yang merupakan reaksi SMR) dan reaksi (13) (yang merupakan reaksi WGS) terjadi melalui *homogeneous gas phase reactions* pada *thermal zone* (yang merupakan bagian dari *the combustion zone*).

3) The Catalytic Zone

Zona ini merupakan zona dimana konversi hidrokarbon terakhir terjadi melalui *heterogeneous catalytic reactions*. Pada keluaran *catalytic zone* ini, *syngas* (H₂ dan CO) akan berkesetimbangan berkat adanya reaksi SMR dan WGS [8].

Keadaan POX yang eksotermis dan SMR yang endotermis, membentuk adanya reaksi netral termodinamika pada keseluruhan proses dan dapat mengurangi CAPEX serta menurunkan kompleksitas sistem. Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan, keluaran autothermal berupa syngas dengan rasio 1 bertekanan 23 bar; 1244°C.

Hasil rasio ini berpengaruh pada proses sintesa DME di unit sintesa, sehingga konversi DME yang dihasilkan akan tinggi. Panas keluaran dari *autothermal reformer* ini dapat dimanfaatkan sebagai pemanas *boiler feed water*, agar dapat dihasilkan *steam* untuk kebutuhan proses produksi. Proses ini disebut dengan *heat recovery steam generation* (HRSG). Spesifikasi *steam* yang diharapkan bertekanan 23 bar.

Mula-mula *boiling feed water* (BFW) dipanaskan melalui *economizer* untuk menaikkan suhu BFW hingga suhu *saturated*, kemudian dialirkan menuju *vaporizer* untuk membentuk *steam* sesuai spesifikasi yang diharapkan untuk kemudian digunakan pada proses.

B. Tahap Sintesa DME

Kemudian setelah melalui tahapan *reforming*, proses DME sintesa dilakukan melalui metode *direct proces* dimana produk dari proses *reforming* yang berupa CO, H₂ dan juga sebagian CO₂ direaksikan dalam reaktor. Jenis reaktor yang digunakan adalah *fluidized bed* dengan menggunakan prinsip reaksi satu tahap yang tertera pada reaksi (4).

Kondisi operasi pada reaktor ini, menurut lisensor yang digunakan (KOGAS), yaitu pada suhu 260°C dan tekanan 50 bar. Konversi DME pada proses sintesa ini bergantung pada rasio *syngas* yang dihasilkan pada tahap *reforming*, Gambar 5 menunjukkan kurva kesetimbangan konversi DME terhadap rasio *syngas*.

Katalis yang digunakan dalam tahapan proses ini adalah Cu-ZnO-Al₂O₃ untuk mengakomodasi reaksi sintesa metanol dan dehidrasi menjadi DME pada satu reaktor yang sama. Katalis ini mampu terdeaktivasi pada suhu 300°C, sehingga pengontrolan suhu reaksi sangat penting, sehingga pada reaktor ini dipasangkan jaket pendingin dengan media *cooling water*.

Semakin tinggi konversi sintesa DME maka akan semakin besar pula panas reaksi yang dihasilkan, dan *hot spot* pada reaktor dapat menyebabkan kerusakan pada katalis.

Keluaran dari reaktor diperoleh produk DME dengan *impurities*, yang kemudian akan dimurnikan pada kolom distilasi. Beberapa produk dari kolom distilasi yang berupa metanol akan di-*recycle* kembali kedalam reaktor untuk mendapatkan hasil produk DME yang maksimal.

C. Tahap Purifikasi

Produk dari reaktor DME kemudian dialirkan menuju unit purifikasi. Proses purifikasi DME berfungsi untuk memisahkan DME dari kandungan lain, seperti *syngas*, metanol, CO₂ dan air.

Mula-mula gas keluaran dari reaktor dikondensasikan agar terbentuk dua fasa dimana diharapkan yang komponennya banyak mengandung *syngas* akan masih berbentuk fasa gas lalu DME, metanol, CO₂ dan air dalam fasa *liquid*. Hal ini dilakukan untuk memudahkan proses purifikasi, dengan cara memperhatikan titik didih dari komponen tersebut saat mengatur suhu keluaran *chiller*. Kemudian dipisahkan menggunakan separator, *syngas* direcycle kembali ke unit sintesa DME.

Tahapan purifikasi pertama adalah pemisahan DME dan air. Fasa uap berupa DME merupakan distilat yang kemudian dialirkan ke distilasi kedua. Fasa *liquid* yang didominasi oleh air dan metanol dialirkan pada distilasi tiga. Pada distilasi dua, dipisah fasa uap dan *liquidnya* yang berupa gas CO₂ *recycle* dan produk DME. Spesifikasi produk DME yang sesuai untuk kebutuhan LPG tertera pada Tabel 2.

Produk DME yang dihasilkan dari pabrik ini memiliki komposisi dimetil eter sebesar 99,7% mol; 0,0009% mol metanol; 0,001 mol CO₂, dimana memenuhi komposisi standar SNI. Penyimpanan produk DME sama dengan penyimpanan produk LPG dan ditransportasikan dalam keadaan cair.

Pada distilasi tiga, metanol dan air dipisahkan keduanya dalam fasa *liquid*. Metanol akan di-*recycle* kembali pada unit sintesa DME. Sedangkan air akan ditransfer menuju *wastewater treatment*.

III. NERACA MASSA DAN ENERGI

Dasar perhitungan yang digunakan pada perhitungan neraca massa adalah sebagai berikut.

- Kapasitas Produksi : 950.000 ton/tahun
- Hari kerja : 330 hari
- Jam kerja : 24 jam

Keterangan jumlah bahan baku yang digunakan tertera pada Tabel 3 neraca massa overall. Perhitungan neraca massa dan panas telah diperoleh hasil yang konvergen. Dimana rancangan pabrik ini telah menghasilkan produk DME dengan kapasitas 950.000 ton/tahun dengan kemurnian 99,7% mol yang telah memenuhi kebutuhan energi di Indonesia.

IV. ANALISA EKONOMI

Perhitungan analisa ekonomi didasarkan pada *discounted cash flow* untuk menentukan kelayakan suatu pabrik. Parameter yang digunakan pada analisa ekonomi diantaranya adalah net present value (NOV), break event point (BEP), internal rate of return (IRR), dan payback period (PBP). Dari perhitungan ekonomi, diperoleh nilai total production cost sebesar Rp 8.316.535.048.462. Dengan kapasitas sebesar 950.000.000 kg/tahun, diperoleh harga dasar produk DME sebesar Rp 8.705/kg, dimana harga ini dibawah harga pasar DME sebesar 12.000/kg, menandakan bahwa akan diperoleh keuntungan jika DME dijual menggunakan harga pasar. Maka, produk DME ini dijual dengan harga \$800 per ton dengan IRR sebesar 14,02% dengan besar bunga pinjaman bank sebesar 7,95%, yangmana artinya pabrik ini layak berdiri karena nilai IRR lebih besar dari bunga pinjaman bank. Modal untuk pendirian pabrik menggunakan rasio 40% modal sendiri dan 60% modal pinjaman. POT diperoleh selama 5 tahun 5 bulan dengan BEP sebesar 38%. Dengan perkiraan umur pabrik selama 10 tahun dengan masa pembangunan selama 2 tahun [9].

V. KESIMPULAN

Rancangan pendirian pabrik DME akan dibangun untuk memenuhi kebutuhan energi nasional dengan cara blending dengan bahan bakar LPG dengan kapasitas sebesar 950.000 ton/tahun di Kalimantan Timur dengan bahan baku gas alam. Pabrik beroperasi selama 330 hari selama 24 jam. Pembangunan pabrik selama 2 tahun dengan perkiraan umurnya selama 10 tahun. Harga produk DME yang dijual sebesar \$800 per ton dengan nilai IRR 14,02% yangmana lebih besar dari nilai bunga pinjaman bank sebesar 7,95%, menandakan bahwa pabrik ini layak untuk didirikan. Nilai BEP yang diperoleh sebesar 38% dengan *payout time* selama 5 tahun 5 bulan. Tinjauan pada aspek lingkungan dari berdirinya pabrik inipun juga cukup baik, potensi limbah cair yang dihasilkan ndari proses produksi diolah sesuai standar pada bagian *wastewater treatment* dan juga gas CO₂ yang dihasilkan digunakan kembali pada proses sehingga tidak mencemari lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. S. Boedoyo, "Pemanfaatan Dimethyl Ether (DME) sebagai substitusi bahan bakar minyak dan LPG," *J. Teknol. Lingkung.*, vol. 11, no. 2, pp. 301–311, 2010, doi: 10.29122/jtl.v11i2.1215.
- [2] D. Amaliah, L. Qadariah, and M. Mahfud, "The production of surfactant anionic Methyl Ester Sulfonate (MES) from Virgin Coconut Oil (VCO) with ultrasound-assisted," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1845, no. 1, p. 12005, Mar. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1845/1/012005.
- [3] R. Anggarani, C. S. Wibowo, and D. Rulianto, "Application of dimethyl ether as LPG substitution for household stove," *Energy Procedia*, vol. 47, pp. 227–234, 2014, doi: 10.1016/j.egypro.2014.01.218.
- [4] K. Sundmacher, "Fuel cell engineering: Toward the design of efficient electrochemical power plants," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 49, no. 21, pp. 10159–10182, Nov. 2010, doi: 10.1021/ie100902t.
- [5] B. Wisnuaji, "Sintesis Proses Produksi Dimetil Eter (DME) Berbasis Gas Alam dan Batubara di Indonesia," Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Bandung, 2019.
- [6] O. L. Eliseev, "Gas-to-liquid technologies," *Russ. J. Gen. Chem.*, vol. 79, no. 11, pp. 2509–2519, 2009, doi: 10.1134/S1070363209110395.
- [7] M. Zahedi nezhad, S. Rowshanzamir, and M. H. Eikani, "Autothermal reforming of methane to synthesis gas: Modeling and simulation," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 34, no. 3, pp. 1292–1300, 2009, doi: 10.1016/j.ijhydene.2008.11.091.
- [8] I. Dybkjaer, "Tubular reforming and autothermal reforming of natural gas — an overview of available processes," *Fuel Process. Technol.*, vol. 42, no. 2, pp. 85–107, 1995, doi: 10.1016/0378-3820(94)00099-F.
- [9] S. N. Putri, Y. I. Satria, and N. Hendriane, "Pra desain pabrik garam industri dari garam rakyat," *J. Tek. ITS*, vol. 9, no. 2, pp. F151-F156, 2021, doi: 10.12962/j23373539.v9i2.54321.