

Pra Desain Pabrik Dimethyl Ether dari Gas Alam dengan Proses Langsung

Muhammad Ihwan Nur Rifki, Rifki Azriel Fahrezi, Annas Wiguno, dan Gede Wibawa
Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: annas.w@chem-eng.its.ac.id

Abstrak—Program konversi minyak tanah ke LPG yang dimulai pada tahun 2007 telah memberikan dampak besar terhadap konsumsi LPG di Indonesia. Permintaan LPG pada tahun 2007 sebesar 0,33 juta ton mengalami peningkatan yang signifikan hingga tahun 2017. Kenaikan permintaan LPG ini mendorong negara untuk melakukan impor guna memenuhi kebutuhan LPG di Indonesia, yang pada gilirannya meningkatkan beban anggaran pemerintah. Untuk mengatasi permasalahan ini, diperlukan pengembangan bahan bakar alternatif yang dapat menggantikan peran LPG sebagai bahan bakar utama. Salah satu solusinya adalah dengan pendirian pabrik Dimethyl Ether (DME) di Indonesia. Industri DME di Indonesia memiliki prospek yang menjanjikan karena bahan baku industri ini adalah gas alam, yang mana ketersediaan gas alam melimpah di Indonesia. Dalam pra desain pabrik ini, pendirian pabrik DME direncanakan pada tahun 2027 dengan lokasi di Kawasan Industri Kariangau, Balikpapan, Kalimantan Timur. Proses produksi DME menggunakan *direct process* yang terdiri dari tahap *reforming*, pemisahan CO₂, sintesa DME, dan purifikasi DME. Bahan baku utama dalam pembuatan DME adalah gas alam, dengan bahan baku penunjang seperti O₂, recycle CO₂, dan recycle metanol. Kapasitas produksi pabrik DME direncanakan sebesar 625.577 ton DME per tahun, berdasarkan proyeksi produksi, konsumsi, ekspor, dan impor LPG hingga tahun 2027. Pabrik akan beroperasi 24 jam sehari selama 330 hari setahun untuk memenuhi kapasitas produksi tersebut. Hasil analisis ekonomi menunjukkan bahwa pendirian pabrik DME adalah investasi yang layak dengan nilai *Internal Rate of Return* (IRR) sebesar 21,7% dan waktu pengembalian modal selama 3,03 tahun. Modal total yang dibutuhkan untuk mendirikan pabrik DME adalah USD 390.782.700, dengan *Break Even Point* (BEP) pabrik sebesar 37,5%. Dengan demikian, pendirian pabrik DME di Indonesia diharapkan dapat mengurangi ketergantungan terhadap impor LPG dan menjadi alternatif bahan bakar yang berpotensi menguntungkan secara ekonomi.

Kata Kunci—DME, LPG, Gas Alam.

I. PENDAHULUAN

PADA tahun 2007, Indonesia menghadapi peningkatan angka konsumsi minyak tanah untuk keperluan rumah tangga. Sebagai solusi, pemerintah menerapkan program konversi minyak tanah ke *Liquefied Petroleum Gas* (LPG). Program ini berhasil mengurangi penggunaan minyak tanah dalam skala rumah tangga, serta membawa dampak positif dalam mengurangi anggaran subsidi, penghematan BBM, dan pengurangan polusi lingkungan.

Meskipun program konversi berhasil mengurangi alokasi anggaran subsidi, namun dampak negatifnya adalah peningkatan penggunaan LPG yang berujung pada penurunan total produksi LPG di Indonesia dari tahun ke tahun. Pada tahun 2020, produksi LPG menurun 0,69% dibandingkan dengan tahun 2019, dan menurun 13,68% dari produksi pada tahun 2016 (Tabel 1) [1]. Penurunan ini terjadi karena berkurangnya jumlah gas yang diperoleh dari sumur minyak

Tabel 1.
Penjualan, Impor dan Ekspor LPG di Indonesia Tahun 2016 - 2020

Tahun	Penjualan (Ton)	Impor (Ton)	Ekspor (Ton)
2016	6.642.633	4.475.929	494
2017	7.200.853	5.461.934	372
2018	7.562.184	5.566.572	434
2019	7.777.990	5.714.695	457
2020	8.023.805	6.396.962	334

Tabel 2.
Proyeksi *Supply-Demand* LPG di Indonesia Tahun 2026

Produksi	Konsumsi	Impor	Ekspor
1.671.379,27	10.127.450,44	8.027.657,96	435,28

Tabel 3.
Perbandingan *Properties* DME dan LPG

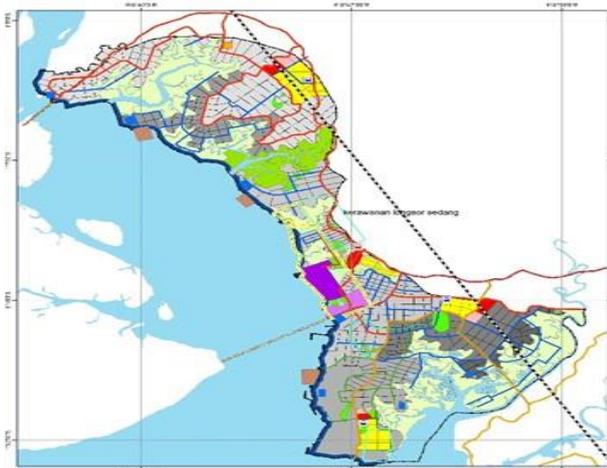
Properti	DME	LPG
Vapor Pressure (kPa)	530	520
Liquid Density (kg/m ³)	667	540
Lower Heating Value (MJ/kg)	28,8	46
Bottle Fill	85%	80%
Mass per unit volume of bottle (kg/m ³)	567	432
Energy per unit volume of bottle (GJ/m ³)	16,3	19,9

dan gas, serta belum ditemukannya sumur baru untuk meningkatkan produksi minyak dan gas di Indonesia (Tabel 2).

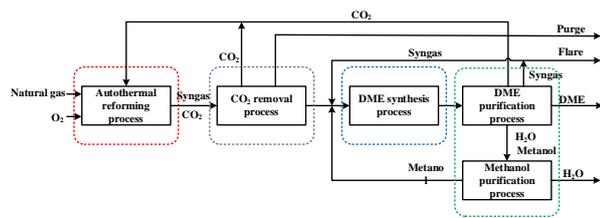
Ketidakseimbangan antara meningkatnya kebutuhan energi dan menurunnya cadangan energi memerlukan upaya serius dalam mencari alternatif sumber energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Solusi ini menjadi penting untuk mengatasi permasalahan energi global yang semakin mendesak dan menghadapi masa depan yang berkelanjutan.

Dimethyl eter atau DME merupakan senyawa ether yang paling sederhana dengan rumus molekul CH₃OCH₃, berbentuk gas tidak berwarna, berbau ether 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 bumi, batu bara, serta biomasa. DME pada kondisi ruang 25°C dan 1 atm berupa senyawa stabil berbentuk uap dengan tekanan uap jenuh sebesar 120 psig (8,16 atm). DME mempunyai kesetaraan energi dengan LPG berkisar 1,56-1,76 dengan nilai kalor DME sebesar 30,5 dan LPG 50,56 MJ/kg (Tabel 3). Pada awalnya DME digunakan sebagai solvent, aerosol *propellant*, *refrigerant*, agen ekstraksi, dan media reaksi kimia. Namun saat ini sudah digunakan untuk berbagai aspek seperti substitusi minyak solar, bahan bakar genset dan sebagai sumber energi dari pembangkit listrik.

Dari perbandingan sifat dan karakteristik DME pada Tabel 4 dengan propana dan n-butana terdapat beberapa parameter yang mendukung DME sehingga dapat dicampurkan dengan



Gambar 1. Lokasi kawasan industri kariangau.



Gambar 2. Diagram balok proses produksi dimethyl ether dari gas alam dengan proses langsung.

LPG yaitu:

1. Titik didih DME berada diantara propana dan n – butana sehingga mudah untuk dicarikan seperti LPG.
2. Densitas dalam fase cair DME tidak jauh berbeda dengan propana dan n – butana.
3. Tekanan uap jenuh DME berada diantara propana dan n – butana.

Selain karakteristik yang tidak jauh berbeda dengan LPG, DME juga memiliki kelebihan yaitu bersifat bersih karena beberapa alasan antara lain [2]:

1. Dapat disimpan dengan aman dan tidak menghasilkan peroksida peledak.
2. Menghasilkan emisi pembakaran yang lebih kecil jumlahnya dibandingkan dengan bahan bakar lainnya.
3. Memungkinkan tidak menghasilkan gas beracun saat pembakaran.
4. Terdegradasi di atmosfer.

Dimethyl ether merupakan senyawa eter paling sederhana dengan rumus kimia CH_3OCH_3 yang terbentuk oleh senyawa karbon, hidrogen, dan oksigen. DME pada suhu ambien berfasa gas yang tidak berwarna dan merupakan senyawa kimia yang stabil. DME memiliki tekanan uap sekitar 0,6 Mpa pada suhu 25 °C, memiliki viskositas 0,12 – 0,15 kg/ms dimana sangat mirip dengan yang dimiliki propana dan butana sehingga dapat dicairkan seperti halnya LPG. Jika dibakar DME menyala berwarna biru terang, serta kandungan racun dalam DME sangat rendah sama halnya dengan LPG dan jauh dibawah kandungan racun metanol. DME memiliki rasio nilai kalor dengan resistansi aliran bahan bakar gas (*Number of Wob Index*) sebesar 52 – 54 dimana setara dengan gas alam, sehingga kompor LPG dapat digunakan untuk DME dengan konsentrasi tertentu tanpa perlu dimodifikasi. Untuk dapat melakukan produksi dan memasarkan DME sebagai substitusi LPG tentunya harus memenuhi standar mutu yang telah ditentukan. Dan berikut ini adalah standar

Tabel 4.

Standar Spesifikasi Produk DME Berdasarkan ISO/DIS 16861

Uraian	Spesifikasi
Formula	C_2H_6O
Molecular Weight	46,07
Density (20 °C)	0,660 kg/dm ³
Boiling Point	-25 °C
Cetane Number	55 - 60
Dimethyl Ether	98,5 (min)
Methanol	0,05 (max)
Water	0,03 (max)
Hydrocarbon up to C4	1 (max)
CO ₂	0,1 (max)
CO	0,01 (max)
Methyl Formate	0,05 (max)
Methyl Ethyl Ether	0,2 (max)
Residue	0,007 (max)
Sulfur Content	3,00 (max)

Tabel 5.

Rekomendasi Pencampuran DME dalam LPG

Karakteristik	Unit	Limit	Spesifikasi
Fraksi massa DME dalam campuran	%(w/w)	max	20
Tekanan vapor di 40 °C	KPa	max	1380
Komponen C5+	%(w/w)	max	1
Ethyl Mercaptan (odorant)	ppm	min	10
Residu evaporasi	%(v/v)	max	0,05
Total Sulfur	ppm	max	40
Korosi (strip tembaga)		max	1
Air	ppm	max	60

spesifikasi DME *fuel grade* sebagai substitusi LPG berdasarkan ISO/DIS 16861 ditunjukkan pada Tabel 4.

Berikut adalah beberapa keuntungan penggunaan DME sebagai substitusi LPG:

1. Pemanfaatan DME akan menghasilkan dampak lingkungan yang rendah karena pembakarannya tidak menghasilkan asam belerang (SO_x) dan asap, serta menghasilkan NO_x dan CO yang sangat rendah.
2. Dapat memanfaatkan infrastruktur untuk LPG karena memiliki karakteristik yang hampir sama, sehingga dapat menghemat biaya.
3. Pemanfaatan DME dapat meningkatkan ketahanan energi nasional sekaligus dapat menekan angka impor LPG yang semakin melonjak tiap tahun.

Dalam hal rasio konsentrasi DME:LPG *International DME Association* memiliki rekomendasi sebagai berikut ditunjukkan pada Tabel 5.

Rasio DME:LPG sebesar 20:80 direkomendasikan karena merupakan penggunaan optimal dari campuran DME dan LPG, dan apabila rasio diatas 20:80 tidak lagi mampu memenuhi baik efisiensi maupun nilai kalornya. Sehingga untuk menggunakan campuran DME dan LPG diatas rasio 20:80 perlu adanya modifikasi terhadap kompor dan regulator yang sudah ada.

II. DATA DASAR PERANCANGAN

A. Ketersediaan dan Kualitas Bahan Baku

Negara Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki cadangan gas alam yang melimpah. Menurut data Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), cadangan gas bumi Indonesia mencapai 62,39 TSCF pada tahun 2020, dimana sebanyak 43,57 TSCF merupakan cadangan gas bumi

Tabel 6.
Proyeksi Penekanan Impor LPG

Jenis	Kondisi Asli	Penambahan Impor LPG	Produksi DME
Produksi LPG	1.671.379,27	1.671.379,27	1.671.379
Konsumsi LPG	10.127.450,44	10.127.450,44	10.127.450
Impor LPG	8.027.657,96	8.456.506,45	6.430.929
Ekspor LPG	435,28	435,28	435,28
Produksi DME	0	0	2.025.577

Tabel 7.
Neraca Massa

Komponen	Massa Masuk (kg/jam)	Massa Keluar (kg/jam)
Methane	44316,27	-
Ethane	4085,11	-
Propane	4136,46	-
i-Butane	1128,05	-
n-Butane	1316,06	-
i-Pentane	700,14	-
n-Pentane	466,76	-
n-Hexane	836,25	-
n-Heptane	12,96	-
CO ₂	7829,49	31,67
CO	-	-
O ₂	62186,33	-
Nitrogen	38,09	-
Hydrogen	-	-
Water	-	164,20
DME	-	71303,31
Methanol	-	0,82
H ₂ S	-	-
MDEA	-	-
Total	127.05	127.05

Tabel 8.
Neraca Energi

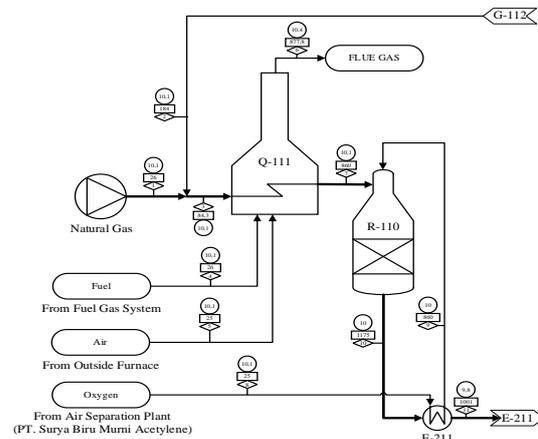
Utilitas	Kebutuhan (kg/jam)
High Pressure Steam	507.509.642,60
Cooling Water	10.234.654,23
Propane Refrigeration Cycle	3.488,14

terbukti dan sisanya sebanyak 18,82 TSCF termasuk dalam cadangan potensial gas bumi [1]. Letak persebaran cadangan gas bumi Indonesia tersebar pada beberapa daerah, Pulau Kalimantan mempunyai cadangan gas bumi tertinggi dimana jumlah cadangan terbukti sebesar 4.128,99 TSCF, cadangan potensial sebanyak 1.679,66 TSCF dan cadangan harapan sebanyak 1.327,71 TSCF [3].

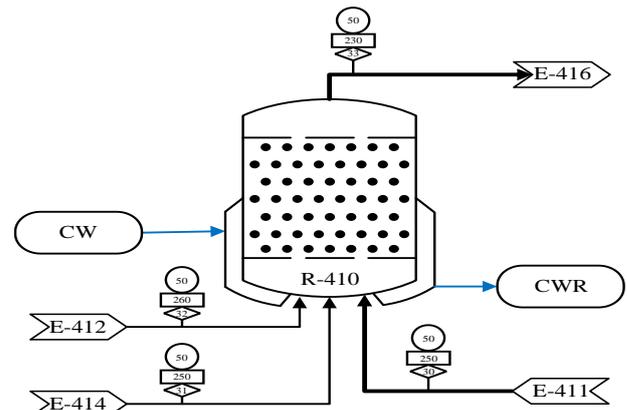
Berdasarkan data persebaran cadangan gas bumi di Indonesia, dapat dilihat bahwa daerah dengan cadangan gas bumi terbesar adalah Region II tepatnya pada daerah Suimatra Selatan dan Tengah sebanyak 726,39 MMSCFD pada 2022, Region V tepatnya di Pertamina Hulu Mahakam Kalimantan Timur sebanyak 1.218 MMSCFD pada tahun 2022 dan Region VI di BP. Berau Ltd. Papua sebanyak 894,41 MMSCFD pada tahun 2022. Ketiga daerah ini merupakan pilihan yang harus dipertimbangkan untuk menjadi lokasi pabrik Dimethyl ether dengan memperhatikan beberapa aspek seperti ketersediaan bahan baku, lokasi pemasaran produk (DME), ketersediaan utilitas berupa air dan listrik, sumber tenaga kerja, hukum dan peraturan, iklim dan topografi wilayah serta indeks bencana daerah.

B. Penentuan Kapasitas

Pertumbuhan jumlah penduduk Indonesia disertai dengan pertumbuhan di bidang ekonomi dan teknologi yang sangat pesat saat ini berdampak pada meningkatnya kebutuhan energi di Indonesia khususnya dalam bentuk *Liquefied*



Gambar 3. Unit proses reforming terdiri dari furnace (Q-111), autothermal reformer (R-110), dan syngas heat exchanger (E-211).



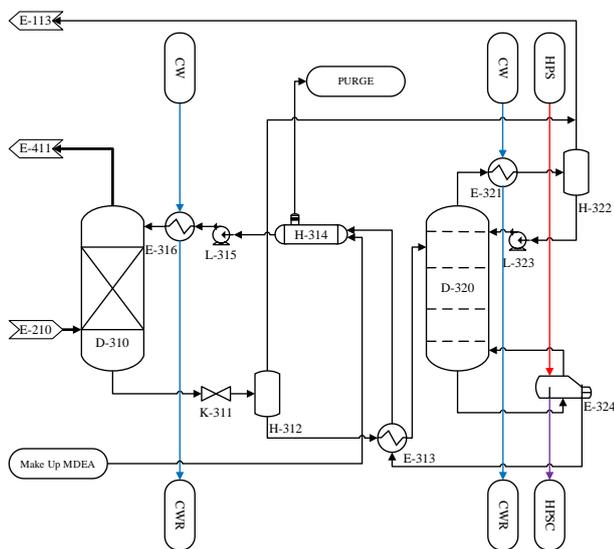
Gambar 4. Unit Proses Sintesa DME terdiri dari DME Fluidized-Bed Reactor (R-410).

Petroleum Gas (LPG). Menurut statistik dari Dirjen Migas Kementerian ESDM, konsumsi LPG dari tahun 2016-2021 mengalami rata-rata kenaikan sebesar 4,32% per tahun [3]. Hal tersebut menyebabkan ketimpangan pada neraca LPG nasional karena menurut sumber yang sama, produksi LPG di Indonesia dengan rentang waktu yang sama mengalami rata-rata penurunan sebesar 2,79% per tahunnya. Bahkan pada tahun 2021, produksi LPG nasional yang mencapai 1.925.280 ton LPG hanya mampu untuk memenuhi sekitar 23,5% kebutuhan LPG nasional, sementara sisanya dipenuhi dari impor LPG. Proyeksi *supply-demand* LPG pada tahun 2026 telah tersaji pada Tabel 2, dan berikut adalah proyeksi penekanan impor LPG dengan skenario pencampuran dengan DME 20% dan DME 80%.

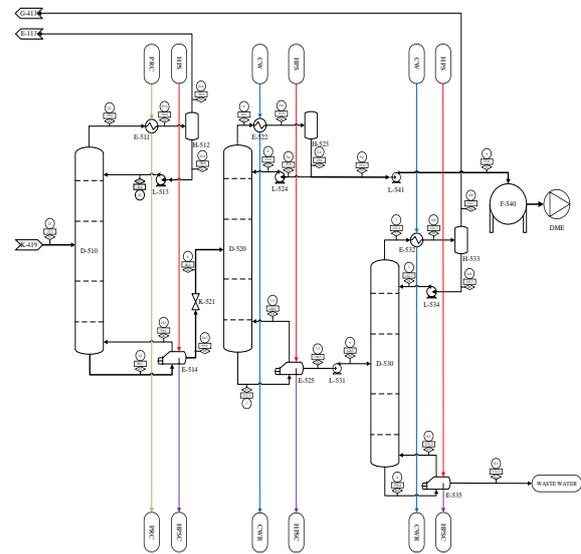
Serta ada tahun tersebut, kerja sama antara Bukit Asam, Pertamina, dan *Air Products* juga berencana untuk hilirisasi batu bara menjadi DME dengan kapasitas sebesar 1,4 juta ton DME per tahun, sehingga kebutuhan DME pada tahun tersebut tersisa 625.577 ton. Jika pabrik dibangun untuk memenuhi 100% dari kebutuhan DME nasional, maka kapasitas produksi pabrik adalah 625.588 ton/ tahun atau Jika setahun terdapat 365 hari dan satu hari terdapat 24 jam, maka pabrik harus memproduksi ±71.500 kg DME/jam.

C. Lokasi dan Ketersediaan Utilitas

Keberhasilan suatu pabrik dipengaruhi oleh beberapa faktor, khususnya letak geografis suatu pabrik yang akan didirikan. Oleh sebab itu, sangat penting dilakukan suatu perencanaan dalam menentukan lokasi pabrik. Lokasi



Gambar 5. Unit proses CO₂ removal.



Gambar 6. Unit proses purifikasi DME.

pendirian pabrik yang tepat dengan bahan baku semurah mungkin dan fasilitas penunjang lainnya yang memadai dapat memperoleh keuntungan dalam jangka panjang baik untuk perusahaan maupun kesejahteraan warga sekitar. Pada pemilihan lokasi pendirian pabrik DME, telah dilakukan pertimbangan di antaranya:

1. Ketersediaan Bahan Baku
2. Lokasi Pemasaran Produk
3. Ketersediaan Lahan
4. Ketersediaan Listrik dan Air
5. Ketersediaan Tenaga Kerja
6. Iklim dan Topografi

Adapun rencana pendirian pabrik DME memiliki 3 opsi yakni di Provinsi Kalimantan Timur (Kawasan Industri Kariangau), Provinsi Sumatra Selatan (KEK Tanjung Api-Api), dan Provinsi Papua Barat (KEK Sorong) (Gambar 1). Ketiga opsi tersebut dipilih karena merupakan daerah dengan cadangan gas bumi yang melimpah di Indonesia.

Berdasarkan parameter yang telah ditentukan, maka dapat dilakukan pembobotan dan seleksi pemilihan lokasi pabrik menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* menggunakan bantuan *software "Expert Choice"* dan dipilihlah Provinsi Kalimantan Timur sebagai lokasi pendirian pabrik tepatnya di Kawasan Industri Kariangau.

Adapun utilitas pada lokasi terpilih juga memadai dengan tersedianya pembangkit listrik dengan kapasitas total 1.763,10 MW serta dengan ketersediaan air sebanyak 77,088 miliar m³ per tahun.

III. URAIAN PROSES TERPILIH

Proses produksi dimethyl ether terdiri dari empat unit proses yang digolongkan berdasarkan fungsi utama dari keseluruhan proses seperti yang ditunjukkan digram balok proses produksi dimethyl ether pada Gambar 2.

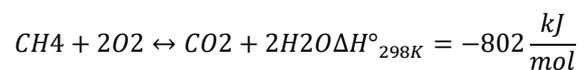
Unit pertama adalah *reforming* atau proses mengubah gas alam menjadi *syngas* yang merupakan bahan baku dari proses sintesa DME (Gambar 3). Proses selanjutnya proses pemisahan CO₂ dalam aliran menggunakan pelarut berupa senyawa MDEA, kemudian adalah sintesa DME dimana *syngas* hasil dari proses *reforming* akan direaksikan pada reaktor *fluidized-bed* untuk menghasilkan DME (Gambar 4).

Dan proses terakhir adalah proses purifikasi DME yang menggunakan 3 unit distilasi.

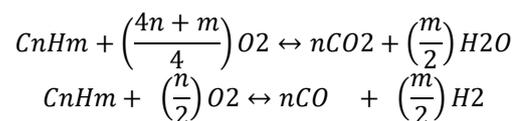
A. Reforming

Proses *reforming* gas alam menjadi *syngas* terbagi menjadi dua tahap, yaitu tahap pemanasan *feed* dan tahap reaksi *feed* menjadi *syngas* yang merupakan tahap utama pada proses *reforming*. Pada tahap pemanasan *feed*, tiga aliran *feed* yang berupa aliran campuran gas alam dan steam, aliran oksigen dari air *separation unit*, dan karbon dioksida yang berasal dari *recycle* reaktor DME dipanaskan mencapai suhu 750 K menggunakan *furnace* dengan *fuel* yang berasal dari beberapa fraksi gas alam yang digunakan sebagai bahan baku.

Tahap reaksi gas alam menjadi *syngas* menggunakan *autothermal reforming process* menggabungkan dua reaksi dalam satu reaktor, yaitu *partial oxidation reforming* (POX) dan *steam methane reforming* (SMR). POX merupakan reaksi oksidasi metana dan oksigen sebagai pereaksi pembatas dengan *residence time* yang sangat singkat (3,6 – 72 ms) dimana reaksi yang terjadi sangat eksotermis dan tidak memerlukan katalis [4].



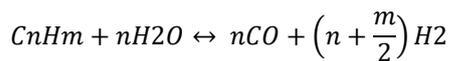
Komponen gas alam dengan rantai karbon yang lebih panjang akan bereaksi dengan persamaan reaksi berikut ini.



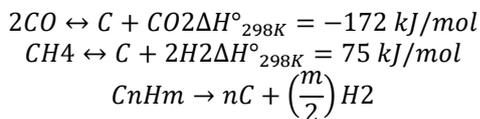
Kondisi *feed* menentukan kondisi operasi proses dan hasil yang akan diperoleh nantinya. Kondisi *feed* dengan suhu 750 K, tekanan 21 bar, rasio CO₂/CH₄ = 0,12; H₂O/CH₄ = 0,6; dan O₂/CH₄ = 0,59 memberikan konversi metana yang tinggi sehingga *yield syngas* juga semakin tinggi. Suhu yang lebih rendah dari itu memberikan konversi metana yang sangat rendah sedangkan suhu yang lebih rendah dari itu berpotensi untuk merusak struktur katalis serta meningkatkan biaya operasi.

Sedangkan SMR merupakan reaksi antara hidrokarbon dengan *superheated steam* untuk membentuk *syngas* dengan bantuan *catalyst bed* berbasis nikel. Reaksi ini berlangsung

pada suhu tinggi (sekitar 800-1000 °C). Sementara komponen gas alam yang memiliki rantai karbon yang lebih panjang akan bereaksi dengan persamaan reaksi sebagai berikut.



Konversi gas alam menjadi *syngas* menggunakan *autothermal reformer* menghasilkan rasio H₂/CO mendekati 2, untuk menurunkan rasio tersebut mendekati 1, keberadaan *steam* bisa digantikan dengan karbon dioksida yang dihasilkan, yang akan memberikan rasio H₂/CO yang lebih *favorable* untuk sintesa DME nantinya.



Reaksi pertama disebut *Boudouard reaction*) dan reaksi kedua merupakan reaksi *reversible* sedangkan reaksi ketiga merupakan reaksi *parallel* pada hidrokarbon dengan rantai karbon yang lebih panjang melalui reaksi *thermal cracking*. Pembentukan karbon terjadi dalam jumlah yang tidak signifikan sehingga dapat diabaikan. Kondisi dan komposisi *feed* pada reaksi SMR bergantung hasil yang diraih pada reaksi POX (Gambar 5).

Kedua reaksi tersebut terjadi secara simultan dalam reformer yang terbagi dalam tiga zona yaitu: (1) *The Burner*, dua aliran *feed* yang terdiri dari aliran campuran gas alam dan oksigen serta 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 telah bercampur dan bereaksi secara bertahap. Reaksi pembakaran dengan oksigen sangat eksotermal dan terjadi dengan sangat cepat. Reaksi pembakaran terjadi sebagai proses *substoikiometrik* dengan rasio keseluruhan oksigen dengan hidrokarbon antara 0,55-0,6 [5]. (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 [6].

B. Pemisahan CO₂

Proses pemisahan CO₂ dilakukan dengan metode absorpsi menggunakan methyl diethanol amine (MDEA) sebagai pelarut. Proses absorpsi dilakukan pada tekanan operasi tinggi 5000 kPa dan suhu rendah 37,7°C. Kondisi operasi tersebut diaplikasikan untuk mengatur kelarutan CO₂ agar mudah larut ke dalam MDEA sehingga jumlah CO₂ yang terlarut ke dalam pelarut menjadi maksimal. Pelarut dan terlarut pada absorber dikontakkan dengan konfigurasi *counter-current* dengan *feed* yang berupa gas masuk ke absorber dari bawah dan pelarut yang berupa *liquid* masuk dari atas untuk memanfaatkan gaya gravitasi sehingga mengurangi kebutuhan energi untuk menggerakkan fluida.

C. Sintesa DME

Proses sintesa DME dilakukan dengan metode *direct process* dimana produk dari proses *reforming* yang sebagian besar berupa CO, H₂, dan sebagian CO₂ direaksikan dengan reaktor *fluidized bed* melalui satu tahap (*one-step process*)

reaksi. Kondisi operasi yang paling ideal pada reaktor sintesa DME adalah pada tekanan 50 bar dengan suhu 260 °C, rasio H₂/CO yang paling ideal adalah 1 untuk mendapatkan konversi DME yang optimal. Katalis yang digunakan pada proses ini adalah katalis bifungsi Cu-ZnO-Al₂O₃/HZSM-5 untuk mengakomodasi reaksi sintesa metanol dan dehidrasi metanol menjadi DME pada satu reaktor yang sama [7].

D. Purifikasi DME

Proses purifikasi DME dilakukan menggunakan beberapa tahap yaitu tahap refrigerasi dimana DME didinginkan mencapai suhu -35 °C menggunakan *propane refrigeration cycle*. Kemudian kandungan gas yang masih tersisa dari proses refrigerasi dipisahkan menggunakan *flash separator* untuk menghilangkan sebagian besar kandungan *syngas*. Kemudian *liquid* DME dipisahkan menggunakan kolom distilasi untuk menghilangkan seluruh kandungan *syngas* dari DME ke produk bawah kolom pertama (D-510) (Tabel 6). *Liquid* DME produk dari kolom distilasi pertama kemudian dimurnikan di kolom distilasi kedua (D-520) untuk menghilangkan metanol dan air yang terbentuk selama reaksi. Kemurnian DME pada distilat mencapai 98% berat pada tekanan 7 bar dan suhu ruang. Dan kolom distilasi yang terakhir (D-530) bertujuan untuk memurnikan metanol dan air agar metanol dapat digunakan kembali pada proses sintesa DME di reaktor (R-410).

IV. NERACA MASSA DAN NERACA ENERGI

A. Neraca Massa

Gas alam merupakan bahan baku utama dalam pabrik DME dengan proses langsung ini, gas alam yang dibutuhkan adalah sebanyak 64.866 kg/jam dan bahan baku pendukung berupa oksigen dibutuhkan sebanyak 62.186 kg/jam. Dan dari kedua bahan baku tersebut akan menghasilkan produk berupa DME sebanyak 71.500 kg/jam, *purge gas* sebanyak 28.013 kg/jam, *flare gas* sebanyak 21.889 kg/jam, dan air sebanyak 5.650 kg/jam ditunjukkan pada Tabel 7.

B. Neraca Energi

Dalam pemrosesan gas alam menjadi DME, pabrik ini membutuhkan *high pressure steam* sebanyak 507.509.642,60 kg/jam, *cooling water* sebanyak 10.234.654,23 kg/jam, dan propana untuk *propane refrigeration cycle* sebanyak 3.488,14 kg/jam. Serta listrik yang dibutuhkan untuk menjalankan mesin seperti kompresor dan pompa adalah sebesar 612.755,59 kW seperti ditunjukkan pada Tabel 8.

V. ANALISA EKONOMI

Analisis ekonomi merupakan hal yang penting dalam meninjau kelayakan pendirian dan perancangan pra desain pabrik. Beberapa faktor yang perlu dianalisa dalam menentukan kelayakan berdirinya pabrik dimethyl ether dari gas alam dengan proses langsung ini diantaranya adalah *Net Present Value* (NPV), laju pengembalian modal (*Internal Rate of Return/IRR*), waktu pengembalian modal minimum (*Pay Out time/POT*), dan juga titik impas (*Break Event Point/BEP*). Untuk mengetahui nilai dari faktor-faktor tersebut, terlebih dahulu perlu diketahui nilai *Capital Expenditure* (CAPEX) dan *Operatting Expense* (OPEX).

A. Capital Expenditure (CAPEX) dan Operating Expense (OPEX)

CAPEX merupakan dana yang digunakan oleh perusahaan untuk memperoleh, meningkatkan, dan memelihara aset fisik seperti *property*, pabrik, bangunan, teknologi, atau peralatan. Pada perhitungan, nilai dari CAPEX yaitu sama dengan *Fixed Capital Investment* (FCI) dimana FCI meliputi aset-aset utama yang dimiliki perusahaan. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan nilai dari CAPEX yaitu sebesar USD 339.811.043,76.

Sementara *Operating Expense* atau biaya operasi adalah pengeluaran yang biasa digunakan oleh sebuah perusahaan saat memenuhi kebutuhan operasional. Penentuan OPEX atau *Total Production Cost* (TPC) terdiri dari biaya produksi langsung/*Direct Production Cost* (DPC), biaya tetap/*Fixed Cost* (FC), *Plant Overhead Cost* (POC), pengeluaran umum/*General Expenses* (GE), dan biaya pembangunan/*Manufacturing Cost* (MC). Sehingga berdasarkan perhitungan nilai dari TPC yaitu sebesar USD 339.540.644,92.

B. Net Present Value (NPV)

Net Present Value merupakan selisih nilai modal atau kas masuk dengan pembelanjaan atau kas keluar. NPV digunakan untuk perhitungan modal guna menganalisa kemungkinan keuntungan suatu proyek maupun investasi yang akan dilakukan. Jika bernilai positif maka kemungkinan pabrik di masa yang akan datang akan mengalami keuntungan. Sebaliknya, jika bernilai negatif, maka kemungkinan pabrik di masa yang akan datang akan mengalami kerugian jika proses produksi dilakukan. Berdasarkan perhitungan dengan *discount factor* sebesar 10%, NPV pabrik bernilai USD 390.782.700. NPV yang bernilai positif menyatakan bahwa pabrik ini layak untuk didirikan.

C. Laju Pengembalian Modal (Internal Rate of Return/IRR)

Perhitungan IRR menggunakan metode *cash flow* merupakan suatu tingkat bunga tertentu dimana seluruh pendapatan akan tepat menutup seluruh jumlah pengeluaran pabrik/perusahaan. Berdasarkan perhitungan, nilai IRR adalah sebesar 21,70%. Nilai IRR yang lebih tinggi dari Bunga bank (6%) dan menunjukkan nilai yang tinggi melebihi *minimum acceptable return* dari kebanyakan investor (15%), maka pabrik layak untuk didirikan.

D. Waktu Pengembalian Modal Minimum (Pay Out Time/POT)

Minimum pay out time adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan modal suatu pabrik yang dapat dihitung dari modal dibagi laba dan depresiasi. Dari perhitungan didapat waktu pengembalian modal minimum adalah 3,03 tahun yang menunjukkan pabrik layak didirikan

karena POT lebih kecil dibandingkan asumsi umur pabrik yaitu 10 tahun.

E. Titik Impas (Break Event Point/BEP)

Analisa titik impas digunakan untuk mengetahui besarnya kapasitas produksi dimana biaya produksi total sama dengan hasil penjualan. Biaya tetap (FC), biaya variabel (VC), biaya semi variabel (SVC) dan biaya total tidak dipengaruhi oleh kapasitas produksi. Dari perhitungan yang dilakukan, didapatkan bahwa titik impas (BEP) = 37,50%. Grafik BEP dapat dilihat pada Gambar 6.

VI. KESIMPULAN

Pabrik dimethyl ether dari gas alam dengan proses langsung direncanakan untuk didirikan pada tahun 2026 dengan kapasitas produksi sebesar 71.500 kg/jam dimethyl ether. Proses produksi dalam pabrik akan dilakukan selama 330 hari kerja dalam 1 tahun dengan menghasilkan DME dengan kemurnian 99,7% yang telah memenuhi spesifikasi ISO/DIS 16861. Pabrik DME akan berlokasi di Provinsi Kalimantan Timur, tepatnya pada Kawasan Industri Kariangau. Dari segi ekonomi pabrik ini memiliki IRR sebesar 21,70%, POT 3,03 tahun, dan BEP sebesar 37,50%. Ditinjau dari IRR yang dimiliki pabrik ini lebih besar dari suku bunga bank dan memiliki nilai NPV yang positif sehingga cocok sebagai investasi jangka panjang. Maka dapat disimpulkan bahwa pabrik dimethyl ether dari gas alam dengan proses langsung layak untuk didirikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, *Laporan Kinerja 2021 Badan PPSDM Migas*, 1st ed. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2021.
- [2] D. Hakim, I. Masfuri, and I. Febijanto, "Karakteristik Kompor Gas LPG terhadap Variasi Campuran Bahan Bakar DME (Dimetil Eter)," in *Conference: Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Universitas Katolik Parahyangan*, 2012.
- [3] Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, *Neraca Gas Bumi Indonesia*, 1st ed. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2018.
- [4] H. R. Shahhosseini, S. Saeidi, S. Najari, and F. Gallucci, "Comparison of conventional and spherical reactor for the industrial auto-thermal reforming of methane to maximize synthesis gas and minimize CO₂," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 42, no. 31, pp. 19798–19809, 2017, doi: 10.1016/j.ijhydene.2017.06.192.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] T. Ogawa, N. Inoue, T. Shikada, O. Inokoshi, and Y. Ohno, "Direct Dimethyl Ether (DME) synthesis from natural gas," in *Natural Gas Conversion VII*, 1st ed., vol. 147, Japan: Elsevier, 2004, pp. 379–384, doi: 10.1016/S0167-2991(04)80081-8.