

Pra-Desain Pabrik *Dimethyl Ether* dari Gas Alam Melalui *Direct Process*

Andreas Darmaja, Indah Rikha Kartikasari, Gede Wibawa, dan Rizky Tetrisyanda
Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: indahrkartikasari@gmail.com

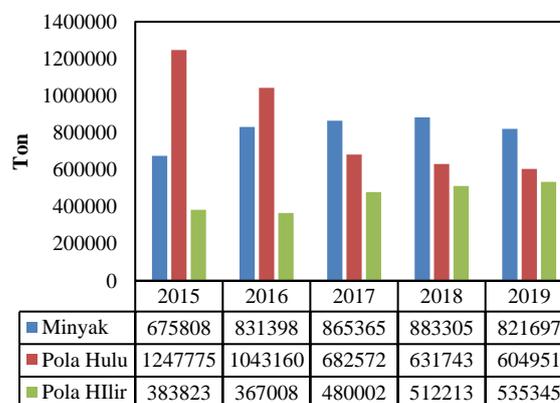
Abstrak—Program konversi minyak tanah ke LPG (*Liquefied Petroleum Gas*) sejak tahun 2007 memberikan dampak besar terhadap konsumsi LPG di Indonesia. Meningkatnya kebutuhan LPG mendorong untuk melakukan impor sehingga beban anggaran pemerintah semakin besar. Berdasarkan permasalahan tersebut diperlukannya pengembangan bahan bakar alternatif yang dapat menggantikan peran LPG sebagai bahan bakar. Pendirian industri DME (*Dimethyl Ether*) di Indonesia menjawab akan masalah atas kebutuhan LPG. Ketersediaan bahan baku berupa gas alam yang melimpah, membuat industri DME di Indonesia memiliki prospek yang menjanjikan. Proses pembuatan DME dari gas alam secara *direct process* pada pabrik ini dibagi kedalam empat buah sektor utama antara lain Sektor *Reforming*, Sektor *Heat Recovery*, Sektor Sintesa DME, dan Sektor Purifikasi DME. Kondisi operasi produksi DME yaitu pada temperatur 250-280°C dan tekanan 5-6 Mpa dengan menggunakan tipe *slurry reactor*. Pabrik DME memiliki *feed* masuk berupa gas alam sebanyak 40040,573 kg/jam menghasilkan produk utama berupa DME sebanyak 36.697,742 kg/jam. Dari hasil perhitungan pada neraca ekonomi didapatkan IRR sebesar 24,79 % dan BEP sebesar 33 % dimana POT selama 3,77 tahun. Dengan bunga 8,5% per tahun. Pabrik diperkirakan bertahan selama 15 tahun dengan lama waktu pembangunan selama 2 tahun. Operasi pabrik 330 hari/tahun dan 24 jam/hari. Modal Investasi Rp 2.709.985.035.056/tahun, Biaya Produksi: Rp1.804.737.785.743/tahun, Hasil Penjualan: Rp2.856.638.643.598/tahun.

Kata kunci—*Dimethyl Ether*, *Direct Process*, Gas Alam.

I. PENDAHULUAN

KEBUTUHAN hidup manusia sangat beraneka ragam, salah satunya adalah kebutuhan akan energi. Energi merupakan sumber utama dalam melakukan aktivitas setiap hari. Dari waktu ke waktu kebutuhan manusia akan energi semakin meningkat namun cadangan energi semakin menurun. Pemanfaatan energi alternatif sangat dibutuhkan guna menggantikan batu bara, minyak bumi, dan juga energi tidak terbarukan yang lain. Upaya penanganan dan inovasi energi terbarukan terus dilakukan, salah satu upaya dan inovasi dalam mengatasi permasalahan energi di Indonesia adalah mengembangkan bahan bakar nabati seperti biodiesel dan bioethanol. Bahan bakar nabati diharapkan dapat menggantikan penggunaan bahan bakar minyak di Indonesia. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2007, menyatakan adanya peningkatan angka penggunaan minyak tanah untuk rumah tangga pertahun. Hal tersebut dinilai dapat berdampak pada alokasi dana APBN dalam mensubsidi minyak tanah. Hal tersebut yang melatar belakangi pemerintah pada tahun 2007 menerapkan program konversi minyak tanah ke *Liquefied Petroleum Gas* (LPG) [1].

Program konversi minyak tanah ke LPG memberikan dampak berupa kenaikan konsumsi LPG yang sangat drastis tanpa adanya upaya produksi LPG yang setara dengan



Gambar 1. Jumlah produksi LPG di Indonesia tahun 2015-2019.

kenaikan nilai konsumsinya. Konsumsi LPG di Indonesia diperkirakan sebesar 237 kilobarrels per day (kbd) pada tahun 2019, angka tersebut naik 3% dibandingkan tahun lalu sebanyak 230 kbd. Angka produksi LPG pada tahun 2019 mengalami penurunan dibandingkan dengan tahun 2018. Angka produksi LPG di Indonesia pada tahun 2019 menunjukkan angka 1.961.994. Angka ini menurun dibandingkan tahun 2018 yaitu 2.027.262. Penurunan angka produksi dikarenakan penurunan angka produksi dari seluruh sumber yang ada yaitu minyak, pola hulu, dan pola hilir. Kondisi ini dapat menunjukkan bahwa kondisi energi di Indonesia mengalami penurunan di berbagai aspek. Oleh karenanya dibutuhkan tambahan produksi LPG atau bahan bakar alternatif untuk memenuhi kebutuhan energi di Indonesia [1].

Pembangunan pabrik DME bertujuan untuk dapat membuat energi baru yang dapat menggantikan peran dari LPG di Indonesia. DME diharapkan dapat menjadi suatu energi alternatif, mengingat kondisi saat ini belum adanya pabrik yang memproduksi bahan bakar DME. Selain untuk menggantikan LPG sebagai bahan bakar di Indonesia, pembangunan 2 pabrik DME juga bertujuan menekan kebutuhan ekspor akan bahan bakar, menekan nilai pajak impor dan ekspor, serta membuka lapangan kerja baru di Indonesia. Kondisi terkini menunjukkan bahwa dari angka produksi LPG di Indonesia mengalami penurunan [1].

Dimethyl ether (DME) merupakan senyawa eter dengan rumus molekul CH_3OCH_3 . DME memiliki aplikasi yang luas seperti pelarut, propelan, bahan kimia *intermediate*, pengganti *refrigerant*, pengganti LPG, dan bahan bakar transportasi. Sifat fisik dari DME adalah mudah terbakar pada kondisi ambien dan akan membentuk fasa Iliquid ketika di *compress* diatas tekanan 0,5 MPa. DME memiliki nilai *caloric value* sebesar $4,620\text{kcal.L}^{-1}$ sedangkan pada fasa gas sebesar 14.200kcal [2]. *Cetane number* dari DME berada pada angka 55-60. Berdasarkan sifat yang dimiliki oleh

Tabel 1.

Kondisi operasi proses sintesa langsung DME pada JFE

Developer	JFE (NKK)
H ₂ /CO Ratio	1,0
Reaction Temperatur (°C)	250-280
Reaction Pressure (MPa)	5-6
One-Pass Conversion (%)	55-60
DME/ (DME+Metanol)	90

Tabel 2.

Kondisi operasi sintesa tidak langsung DME

Proses	Metanol	Dehidrasi
Tekanan Reaksi (bar)	50-100	20
Temperatur Reaksi (°C)	230-270	250-400
Konversi One-Pass (%)	<25	70-90
Hasil Samping Reaktor	-	Air
	Fixed	Fixed

Tabel 3.

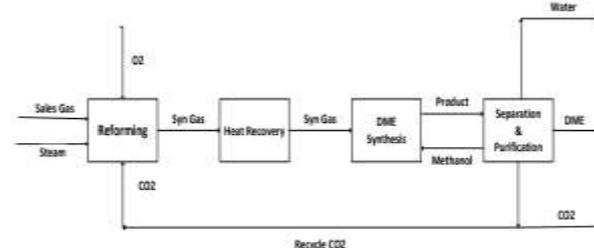
Spesifikasi produk DME

Karakteristik	Limit	Spesifikasi
Specific Gravity		0,74
Vapour Pressure (Psig)		110
Komposisi (% wt)		
DME	Min	98,5
Metanol	Max	0,05
H ₂ O	Max	0,03
Hidrokarbon	Max	1,00
CO ₂	Max	0,10
CO	Max	0,01
Residue	Max	0,01
Sulfur	Max	3,00

Tabel 4.

Data supply demand LPG di Indonesia

Tahun	Produksi (ton)	Konsumsi (ton)	Ekspor (ton)	Impor (ton)
2007	1.409.430	1.281.000	268.000	137.800
2008	1.690.766	1.843.817	10.051	415.000
2009	2.120.118	2.922.080	88.463	917.171
2010	2.478.371	4.347.465	279	1.621.959
2011	2.285.439	5.030.547	76.566	1.991.774
2012	2.201.539	5.607.430	205	2.573.670
2013	2.010.990	5.607.430	286	3.299.808
2014	2.379.128	6.093.138	483	3.604.009
2015	2.307.407	6.376.990	392	4.025.600
2016	2.241.567	6.642.633	580	4.475.929
2017	2.027.941	7.190.871	360	5.461.934
2018	2.008.990	7.200.876	434,1	5.566.572
2019	1.961.994	7.760.000	466	5.710.000



Gambar 2. Block flow diagram sintesa DME dengan direct process.

senyawa DME, maka DME dapat masuk kedalam pasar gas dan bahan bakar cair. DME dapat digunakan sebagai pengganti propan dalam LPG dan bahan bakar dalam pembangkit listrik. Gambar 1 menunjukkan jumlah produksi LPG di Indonesia tahun 2015-2019.

DME dapat dibentuk melalui dua macam proses, yaitu proses sintesa langsung dan proses sintesa tak langsung. Proses sintesa langsung adalah proses sintesa DME dari syngas, sintesa metanol dari syngas dan dehidrasi metanol yang diproses dalam reaktor yang sama. Sintesa DME melalui direct process berlangsung sebagaimana reaksi berikut:

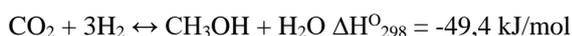


Pada dasarnya reaksi sintesa DME merupakan gabungan dari reaksi sintesa DME secara tidak langsung. Adanya senyawa CO dalam syngas dapat beraksi dengan H₂O sehingga dihasilkan karbon dioksida dan air. Pada sintesis direct process terjadi secara langsung maka hanya dibutuhkan 1 reaktor saja yang dapat mengonversi syngas menjadi DME. Salah satu pabrik yang mendemonstrasikan sintesis DME adalah eiefuī Hōrudingusu Kabushiki-gaisha (JFE Holdings) adalah pabrik di Kushiro, Jepang bagian utara dengan kapasitas 100 ton/hari [3]. Kondisi operasi proses sintesa langsung DME dan JFE tertera pada Tabel 1.

Pembuatan DME melalui indirect process berlangsung dalam 2 tahap. Tahap pertama produksi metanol dari syngas berdasarkan reaksi berikut :



Metanol juga dapat diproduksi dari gas karbon dioksida dan gas hydrogen sebagaimana reaksi berikut:



Tahap selanjutnya adalah mendehidrasi metanol sehingga

menghasilkan produk DME, dengan reaksi sebagai berikut:



Pada sintesa DME menggunakan proses tidak langsung membutuhkan 2 reaktor karena dibutuhkan untuk 2 reaksi produksi metanol dan dehidrasi. Kondisi operasi unuk proses tidak langsung ditampilkan dalam Tabel 2 [3].

Produksi DME dapat dihasilkan melalui sintesis gas alam. Reaksi sintesa DME dengan direct process berlangsung dalam fase gas dengan perbandingan H₂:CO 1:1. Teknologi proses yang digunakan pada sintesa DME direct process antara lain reforming section, DME synthesis section, dan purification section [4].

Pada reforming section, gas alam perlu diubah menjadi syngas (H₂ dan CO). Proses pembentukan syngas disebut proses reforming. Proses reforming pada gas alam dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis yaitu steam reforming, autothermal reforming, dan partial oxidation. Steam reforming merupakan proses pembentukan syngas di mana reaksi utama pembentukan adalah gas alam dengan uap cair yang bersifat endotermis. Autothermal reforming merupakan proses pembentukan syngas dimana gas alam direaksikan dengan oksigen dan uap air dalam satu reaktor. Pada autothermal reforming reaksi yang terjadi terbagi menjadi dua dimana reaksi gas alam dengan uap air bersifat endotermis dan reaksi gas alam dengan oksigen bersifat eksotermis. Partial oxidation merupakan proses pembentukan syngas dimana reaksi antara gas alam dengan oksigen dan bersifat eksotermis. Teknologi reforming yang dipilih adalah autothermal reforming karena sifat yang dimiliki adalah endotermik dan eksotermik sekaligus sehingga membuat penggunaan energi lebih hemat.

Sintesa DME telah banyak dilakukan oleh industri secara komersial. Perusahaan yang menjamin teknologi yang digunakan oleh industry adalah lisensor. Lisensor merupakan pihak yang memiliki hak cipta dan memberikan izinnya kepada penerima lisensi. Lisensor dapat memberikan lisensi

Tabel 5.
Data pertumbuhan LPG di Indonesia

Tahun	Produksi	Konsumsi	Ekspor	Impor
2007-2008	16,64%	30,52%	-96,25%	66,80%
2008-2009	20,44%	36,90%	88,64%	54,75%
2009-2010	14,25%	32,79%	-99,68%	43,45%
2010-2011	-8,44%	13,58%	99,64%	18,57%
2011-2012	-3,81%	10,29%	-99,73%	22,61%
2012-2013	-9,48%	0,00%	28,32%	22,01%
2013-2014	15,47%	7,97%	40,79%	8,44%
2014-2015	-3,11%	4,45%	-23,21%	10,47%
2015-2016	-2,94%	4,00%	32,41%	10,06%
2016-2017	-10,53%	7,62%	-61,11%	18,05%
2017-2018	-0,94%	0,14%	17,07%	1,88%
2018-2019	-2,40%	7,76%	7,35%	2,58%
Rata-rata	2,09%	13,00%	-5,48%	23,31%

Tabel 6.
Proyeksi LPG tahun 2023

Proyeksi	LPG (ton)
Produksi	2.131.717
Ekspor	371,947
Impor	13.199.007
Konsumsi	12.653.221

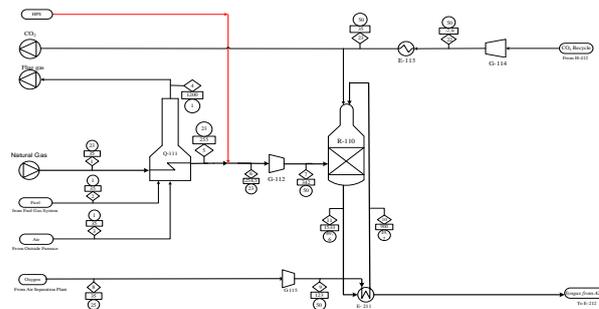
kepada suatu pihak dan dapat memberikan lisensinya kepada pihak lain tergantung dari perjanjian yang telah dibuat bersama. Mengkutip dari sumber "Takeishi K and Akaike Y" dari salah satu universitas di Jepang, menyebutkan bahwa ada 5 perusahaan yang telah mengembangkan teknologi sintesa DME menggunakan proses langsung diantaranya JFE, Air Products, Holder Topsoe, dan KOGAS [3].

Pada teknologi proses purifikasi, produk dari reaktor sintesa DME dialirkan menuju unit pemisahan yang terdiri dari separator dan kolom destilasi. Produk dari reaktor DME didinginkan hingga terkondensasi sehingga membentuk komponen cair campuran DME dan CO₂ yang terlarut, metanol, air, serta komponen uap yang tidak bereaksi dan DME yang tidak terkondensasi. Fluida yang telah terkondensasi dialirkan menuju separator dimana akan terjadi penurunan tekanan didalam separator sehingga DME yang menjadi vapour akan semakin banyak. Produk bawah hasil separator yang mengandung campuran DME dan CO₂ yang terlarut dalam DME, metanol, dan air dialirkan kedalam kolom destilasi untuk melakukan pemurnian DME. Hasil pemurnian pertama adalah distilat yang berupa DME dan campuran methanol water sebagai bottom product. Bottom product dialirkan kembali ke dalam kolom destilasi kembali untuk memisahkan metanol dan air yang bercampur.

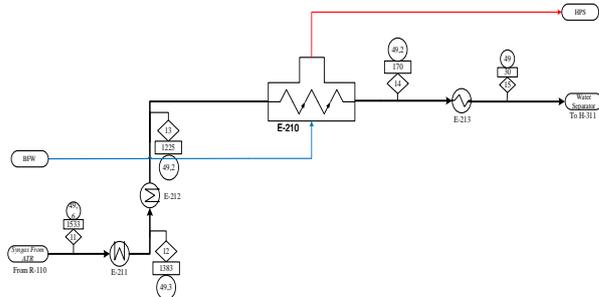
II. DATA DASAR PERANCANGAN

A. Ketersediaan dan Kualitas Bahan Baku

Indonesia merupakan salah satu negara dengan cadangan gas alam terbesar di dunia. Setiap tahun banyak sumber gas alam baru yang ditemukan di Indonesia. Menurut data Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi tahun 2018, cadangan gas alam Indonesia mencapai 135,5 TSCF dimana sebanyak 99,6 TSCF merupakan Reserve to production (cadangan terbukti) dan sisanya 39,49 TSCF adalah cadangan potensial (terdiri dari cadangan (P2) sebesar 21,26 TSCF dan cadangan Harapan (P3) sebesar 18,23 TSCF). Mengingat gas bumi masih merupakan energi yang mendominasi dalam penggunaan energi nasional, maka beberapa upaya peningkatan cadangan gas bumi senantiasa dilakukan untuk meningkatkan kepastian cadangan dari status cadangan



Gambar 3. Diagram sektor reforming.



Gambar 4. Diagram sektor heat recovery.

potensial menjadi cadangan terbukti. Pada awal tahun 2019 jumlah cadangan gas alam di Indonesia mencapai 77,3 TSCF dari total target yang Harapan sejumlah 142 TSCF. Pada tahun 2023, Pemerintah juga akan menghentikan ekspor gas melalui pipa ke Singapura. Hal ini untuk mengoptimalkan pemanfaatan gas untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri.

Dimethyl ether adalah senyawa organik yang terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen dengan rumus molekul CH₃OCH₃. Pada kondisi tekanan dan temperatur standar DME berbentuk seperti gas. DME merupakan bentuk ether yang paling sederhana yang dapat dijadikan bahan bakar dalam bentuk LPG (Liquified Petroleum Gas). Produk DME harus memenuhi kriteria tertentu agar bisa dijual di pasaran. Berikut merupakan spesifikasi DME dengan fuel grade untuk dicampur dengan LPG mengikuti standar ISO TC28/DC4/WG14. Tabel 3 menunjukkan spesifikasi produk DME.

B. Penentuan Kapasitas Produksi

Penentuan kapasitas produksi merupakan proses yang memiliki peranan penting saat membuat desain pabrik. Kapasitas pabrik umumnya dikalkulasi berdasarkan permintaan di masa mendatang, di saat pabrik mulai beroperasi untuk memproduksi komoditi. Data yang diperlukan adalah data perdagangan luar negeri, seperti ekspor dan impor, juga data supply dan demand dari produk yang akan dihasilkan, pada suatu region dalam periode tertentu. Tabel 4 merupakan data pertumbuhan ekspor dan impor metanol di Indonesia.

Dari Tabel 4 dapat dihitung perkiraan nilai produksi, ekspor, impor dan konsumsi pada tahun 2023 yang mana pabrik akan didirikan, menggunakan persamaan discounted sebagai berikut:

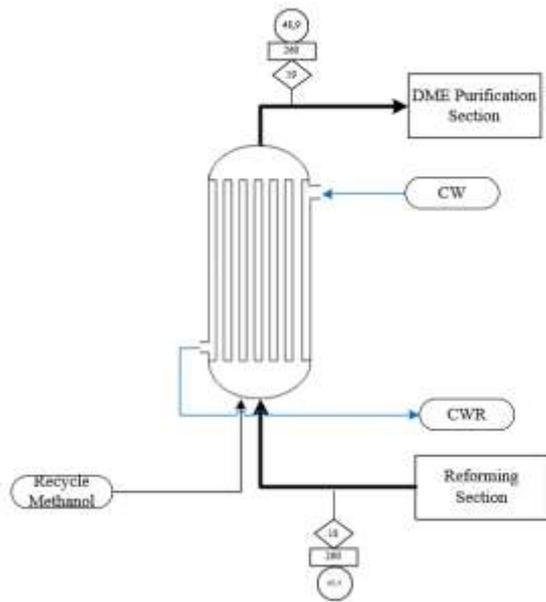
$$F = P (1 + i)^n$$

Dimana:

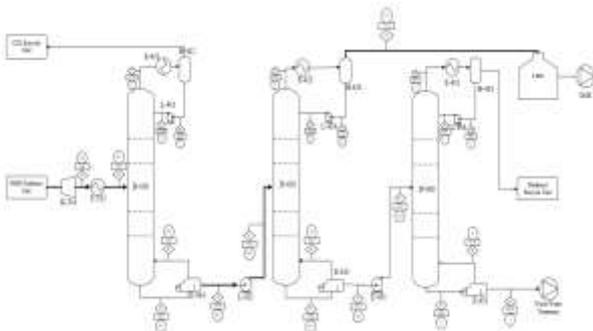
F = jumlah produk pada tahun pembangunan pabrik (ton)

P = jumlah produk pada tahun terakhir (ton)

i = pertumbuhan rata-rata per tahun



Gambar 5. Diagram sintesa DME.



Gambar 6. Diagram purifikasi DME.

n = Selisih tahun yang diperhitungkan (-)

Maka dapat dihitung nilai pertumbuhan produksi, konsumsi, ekspor dan impor dari tahun 2007-2019. Data pertumbuhan LPG di Indonesia tertera pada Tabel 5.

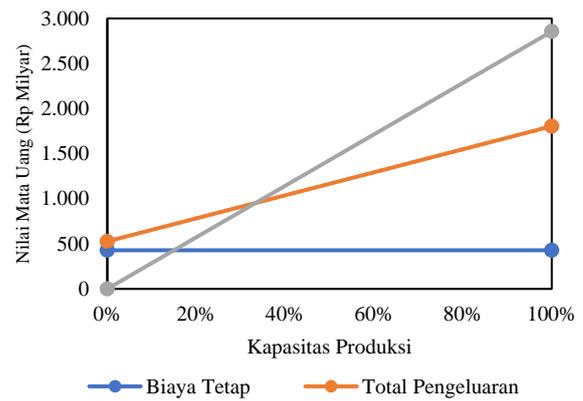
Berdasarkan penghitungan melalui persamaan *discounted*, maka didapatkan proyeksi jumlah produksi, ekspor, impor dan konsumsi LPG pada tahun 2023 yang tertera pada Tabel 6.

Selanjutnya dapat dilakukan penghitungan kebutuhan LPG tahun 2023 berdasarkan persamaan:

$$S = (Produksi - Konsumsi) + (Impor - Ekspor)$$

$$S = 2.678.023 \text{ ton}$$

Berdasarkan perkiraan, kebutuhan LPG di tahun 2023 sejumlah 2.678.023 ton. Hingga saat ini di Indonesia telah ada pabrik DME namun dengan kapasitas produksi yang sangat kecil yaitu 1200 ton/tahun oleh PT. Bumi Tangerang Gas Industri. Tentu hal ini tidak mampu mencukupi permintaan atau kebutuhan DME di Indonesia, sehingga jalan terakhir untuk memenuhi semua kebutuhan itu adalah melakukan import. Untuk mengatasi tingginya jumlah import LPG, PT Pertamina (Persero), PT Bukit Asam Tbk (PTBA), dan Air Product and Chemicals Inc. bersepakat mendirikan perusahaan *joint venture* yang bergerak di bidang bisnis pengolahan batubara dan produk turunan batubara. Usaha yang dimaksudkan tidak lain adalah produksi DME sebagai



Gambar 7. Grafik Break Even Point (BEP).

Tabel 7. Hasil perhitungan analisa ekonomi

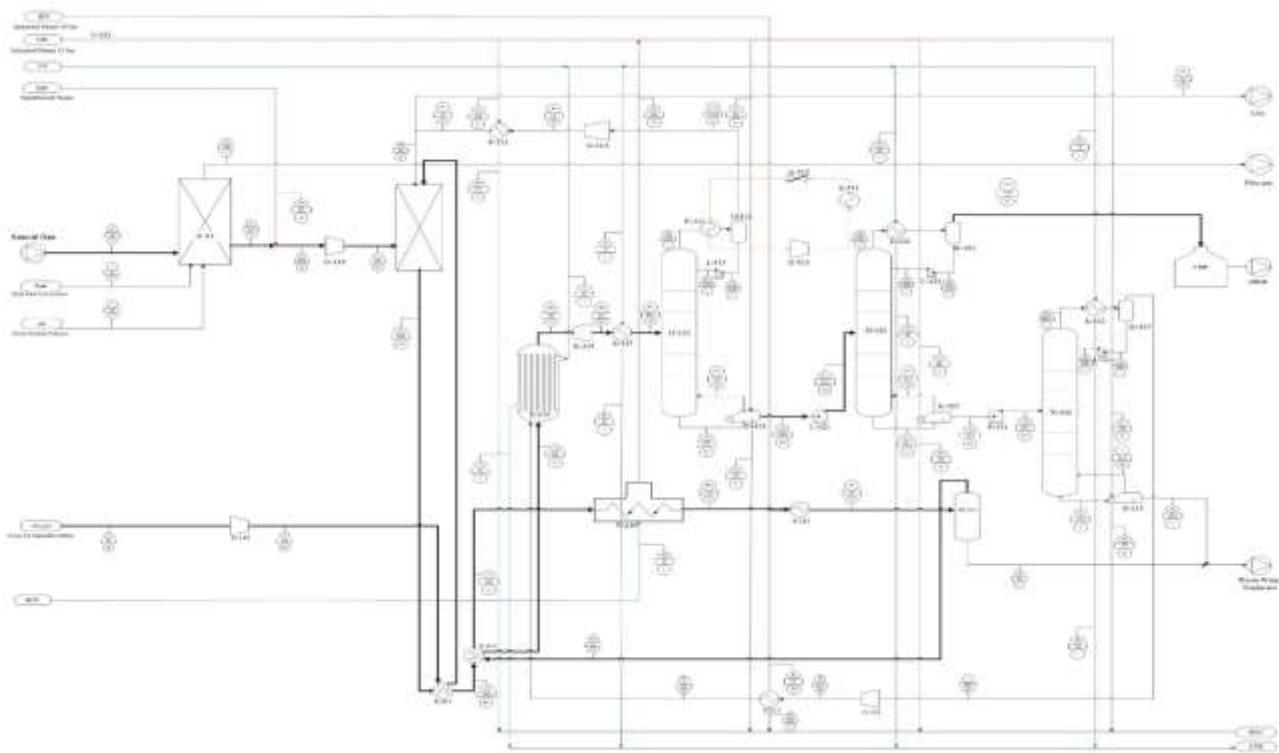
No.	Keterangan	Jumlah
1.	Biaya Tetap (FC)	Rp 428.177.635.539
	Biaya Variabel (VC)	
	- Bahan Baku	Rp 851.057.979.631
2.	- Utilitas	Rp 180.473.778.574
	- Royalty	Rp 18.047.377.857
	Total Biaya Variabel (VC)	Rp 1.049.579.136.063
	Biaya Semivariabel (SVC)	
	- Gaji Karyawan	Rp 25.572.000.000
	- Pengawasan	Rp 2.045.760.000
	- Pemeliharaan dan Perbaikan	Rp 46.069.745.596
3.	- Operating Supplies	Rp 11.517.436.399
	- Laboratorium	Rp 2.045.760.000
	- Pengeluaran Umum	Rp 149.493.422.859
	- Plant Overhead Cost	Rp 90.236.889.287
	Total Biaya Semivariabel (SVC)	Rp 326.981.014.142
4.	Total Penjualan (S)	Rp 2.856.638.643.598

pengganti LPG. usaha gasifikasi batubara ini memiliki kapasitas produksi 1,4 Juta ton DME per tahun dengan kebutuhan batubara sebesar 9,2 juta ton per tahunnya. Sehingga pada tahun 2023 nanti, PT Bukit Asam akan menjadi kompetitor besar. Dengan demikian masih tersisa sekitar 1,2 juta ton kebutuhan LPG yang belum terpenuhi. Oleh karena itu pabrik DME ini didirikan untuk memenuhi 20% kebutuhan blending LPG di tahun 2023 dengan kapasitas produksinya sebesar 260.000 ton/tahun.

C. Lokasi dan Ketersediaan Utilitas

Dalam pendirian suatu pabrik, penentuan lokasi merupakan hal yang sangat fundamental. Penentuan lokasi memberikan pengaruh yang besar terhadap kelangsungan beroperasinya pabrik. Tujuan penentuan lokasi suatu pabrik adalah untuk membantu pabrik beroperasi atau berproduksi dengan lancar, efektif dan efisien serta memberikan keuntungan sebesar-besarnya. Hal ini berarti dalam menentukan lokasi pabrik perlu diperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya biaya produksi dan biaya distribusi dari produk yang akan di hasilkan.

Terdapat beberapa pilihan lokasi yang memungkinkan untuk ditempatkan, yaitu Sumatera Selatan, Kepulauan Riau, dan Kalimantan Timur. Pemilihan lokasi pendirian pabrik didasarkan oleh beberapa factor ketersediaan bahan baku, ketersediaan pasar, legalitas, jumlah potensi tenaga kerja, upah minimum regional, harga lahan, iklim, transportasi, pasokan air, dan listrik, dibantu dengan metode AHP



Gambar 8. *Process flow diagram* pra-desain pabrik *dimethyl ether* dari gas alam melalui *direct process*.

didapatkan lokasi untuk pendirian pabrik yaitu di Desa Handil Terusan, Kecamatan Anggana, Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur. Pemilihan lokasi tersebut dengan mempertimbangkan kedekatan ketersediaan bahan baku, yaitu dari PT Pertamina Hulu Mahakam yang hanya berjarak sekitar 30km. Lokasi tersebut juga strategis karena berada di sepanjang Sungai Mahakam sehingga dapat memanfaatkan air secara langsung untuk sumber kelistrikan maupun utilitas. Selain itu sasaran utama pemasaran yaitu PT Badak NGL juga terletak di Kalimantan Timur, tepatnya di Kabupaten Bontang yang berjarak sekitar 100 km dan dapat ditempuh melalui akses jalan darat.

III. URAIAN PROSES

Proses pembuatan DME dari gas alam secara *direct process* pada pabrik ini dibagi kedalam empat buah sektor utama. Antara lain Sektor *Reforming*, Sektor *Heat recovery*, Sektor Sintesa DME, dan Sektor Purifikasi DME [3]. Block flow diagram sintesa DME dengan *direct process* tertera pada Gambar 2.

A. *Autothermal Reforming*

Gas alam adalah bahan baku utama pada pembuatan DME. Biasanya gas alam dikonversi melalui reaksi katalitik dengan steam dan/atau oksigen, yang mana proses ini dinamakan *reforming* gas alam. Proses *reforming* gas alam dilakukan menggunakan *autothermal reforming* (R-110) yang bertujuan untuk menghasilkan *syngas* (CO dan H₂).

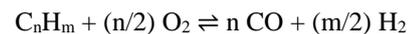
Tahap *Auto-thermal Reforming* terdiri dari 2 bagian antara lain, *feed preheat section* dan *reactor section*. Proses utama dari tahap ini terjadi pada bagian *reactor section* untuk mengkonversikan gas alam menjadi *syngas*. Sebelum memasuki reaktor, aliran umpan berupa gas alam, dipanaskan terlebih dahulu melalui *Fired Heater*, (Q-111). Pemanasan ini bertujuan untuk mengkondisikan temperatur umpan,

seperti kondisi yang dibutuhkan oleh reaktor, (R-110). Terdapat tiga aliran umpan kedalam reaktor *Autothermal Reforming* antara lain umpan *feed* yang telah bercampur dengan *steam* pada temperatur campuran sebesar 342°C, aliran umpan oksigen yang diperoleh dari *Air Separation Unit*, dan *Recycle CO₂* dari *byproduct* DME yang sebelumnya dipanaskan terlebih dahulu menggunakan *steam* melalui *heater* (E-113). Gambar 3 menunjukkan diagram sector *reforming*. Gambar 4 menunjukkan diagram sector *heat recovery*.

Reaktor *Autothermal Reforming* ini mengombinasikan dua proses *reforming*, yaitu *Partial Oxidation Reforming* (POX) dan *Steam Methane Reforming* (SMR). *Partial Oxidation Reforming* atau proses oksidasi parsial merupakan reaksi pembentukan *syngas* yang berasal dari *methane* dengan *insufficient oxygen* atau oksigen yang sangat sedikit dimana reaksi dapat terjadi tanpa adanya katalis dan bersifat sangat eksotermis[5].



Hidrokarbon dengan rantai yang lebih tinggi akan bereaksi dengan reaksi:



Sedangkan *Steam Methane Reforming* merupakan reaksi antara *methane* dengan *superheated steam* untuk membentuk *syngas*. Reaksi ini membutuhkan katalis, biasanya berbasis nikel, dan beroperasi pada temperatur tinggi (800–1000°C, 20–30 atm).



Reaksi tersebut merupakan reaksi *methane reforming* dan *Water-Gas Shift Reaction* (WGS). Reaksi tersebut berlangsung secara *reversible*. Konsentrasi dari tiap

komponen bergantung pada kondisi reaksi: temperatur, tekanan, dan H_2O/CH_4 ratio. Pembentukan *syngas* akan meningkat ketika temperatur meningkat dan tekanan menurun. Dengan meningkatnya temperatur, reaksi WGS akan semakin berkurang dan CO dan H_2 akan menjadi main product.

Pada bagian ATR pada umumnya dihasilkan rasio H_2/CO sebesar 1,6 - 2,6, sedangkan untuk menghasilkan konversi DME yang lebih tinggi dibutuhkan rasio $H_2/CO = 1$, maka dilakukan *recycle* CO_2 yang berasal dari *byproduct direct synthesis* DME kedalam ATR

B. Heat Recovery

Syngas yang telah diproduksi oleh *Auto-thermal Reformer* (ATR) mengandung sebagian besar hidrogen, CO dan CO_2 (bahan pembentuk DME) serta sebagian air. *Syngas* tersebut mempunyai temperatur yang sangat tinggi, yaitu $1533^\circ C$ dan tekanan 15,2 atm. Aliran *syngas* memiliki temperatur yang tinggi sehingga dapat dimanfaatkan pada aliran lain yang membutuhkan panas atau energi. Pada tahap *Heat Recovery* terjadi pertukaran panas, yaitu memanfaatkan panas keluaran *Autothermal Reformer* (R-110) sebagai pemanas aliran lain sehingga dapat menaikkan temperatur aliran yang dituju. Konsep yang digunakan pada *Heat Recovery* adalah menukarkan panas antara aliran panas dan aliran dingin dengan bantuan alat *Heat Exchanger* dan *Water Heat Boiler*. Sistem aliran pada HR diatur secara *counter current*. Aliran *Syngas* hasil produk ATR sebagai aliran panas dialirkan ke *heat exchanger* dan dikontakan dengan aliran O_2 dengan temperatur $35^\circ C$ dan tekanan 49,7 atm sebagai aliran dingin. Pada kolom *heat-exchanger* terjadi pertukaran panas dimana hasil keluaran *heat-exchanger* yaitu aliran O_2 dengan temperatur $900^\circ C$ dengan tekanan 49,7 atm dan aliran *syngas* menjadi $1383^\circ C$ dengan tekanan 49,3 atm. Selanjutnya panas akan di-*recovery* dengan *Water Heat Boiler*, E-210, untuk memproduksi *steam*. *Effluent* dari *Water Heat Boiler* adalah *syngas* yang bersuhu $170^\circ C$, yang kemudian didinginkan lebih lanjut menggunakan *cooler*, E-213, untuk menurunkan suhu hingga temperatur dimana H_2O berfasa *liquid*.

C. Sintesa DME

Proses sintesa DME ini dilakukan melalui *direct process*, dimana *syngas* yang terdiri dari CO, H_2 , dan sebagian CO_2 akan direaksikan langsung membentuk *Dimethyl Ether*. Untuk mendapatkan rasio *syngas* yang optimal, dapat dilakukan optimasi pada proses *reforming* gas alam, yaitu dengan cara me-*recycle* gas CO_2 yang terbentuk sebagai produk samping sintesa DME menuju ke ATR.



Reaksi sintesa DME adalah sangat eksotermik. Reaksi sintesa DME membutuhkan katalis Cu-Zn/ Al_2O_3 yang akan terdeaktivasi pada temperatur $300^\circ C$, sehingga diperlukannya kontrol terhadap suhu reaksi. Semakin tinggi konversi sintesa DME maka akan semakin besar pula panas reaksi yang dihasilkan, dan *hot spot* pada reaktor dapat menyebabkan kerusakan pada katalis.

Kontrol terhadap suhu reaksi dapat dilakukan dengan menggunakan pendingin pada bagian *shell* reaktor. Reaktor tersebut berisi solvent inert dan mengandung partikel-partikel

katalis halus, kemudian gas reaktan akan membentuk gelembung dan berdifusi kedalam *solvent*, sehingga akan terjadi reaksi sintesa DME. Panas yang dihasilkan dari reaksi akan secara cepat diserap oleh solvent, yang berkapasitas panas tinggi, dan konduktivitas thermal yang efektif, sehingga distribusi suhu pada *slurry* akan menjadi homogen/ menyeluruh. Panas yang terproduksi dari reaktor kemudian diserap oleh air pendingin yang dialirkan melalui bagian *shell* reaktor. Sintesa DME pada multitube tubular reaktor ini akan menghasilkan produk berfasa gas sehingga pemisahan liquid dan katalis tidak diperlukan. Diagram sintesa DME ditunjukkan pada Gambar 5.

D. Purifikasi DME

Setelah terbentuknya DME dan beberapa *byproduct* seperti CO_2 dan H_2 , proses yang dibutuhkan selanjutnya adalah purifikasi. Proses purifikasi berfungsi untuk mendapatkan produk DME yang lebih murni sebagaimana spesifikasi *sales* DME. Komponen yang harus di hilangkan adalah CO_2 , metanol, dan air. Produk dari reaktor DME dialirkan kedalam unit pemisahan berupa tiga buah kolom destilasi. Mula-mula produk dari reaktor DME dialirkan ke dalam kolom destilasi pertama (D-410). Kolom distilasi pertama bertujuan memisahkan CO_2 dari campuran DME dan metanol water. Produk atas yang didapatkan pada kolom distilasi pertama yaitu 99% CO_2 dengan kandungan lainnya DME dan campuran *methanol water*. Temperatur pada produk atas distilasi sebesar $-30^\circ C$ yang merupakan proses *cryogenic* dalam memisahkan CO_2 . Produk bawah kolom distilasi pertama adalah campuran DME, metanol dan air. CO_2 hasil kolom distilasi pertama selanjutnya di-*recycle* menuju ATR untuk digunakan kembali dan memaksimalkan konversi *syngas* yang didapatkan. Produk bawah kolom distilasi pertama dialirkan pada kolom distilasi kedua. Kolom distilasi kedua bertujuan memisahkan DME dengan campuran metanol air. Produk atas kolom distilasi pertama berupa DME dengan kemurnian 99,3% mol DME. Produk bawah yang mengandung campuran metanol air didistilasi kembali pada kolom distilasi sehingga terbentuk distilat berupa metanol berfasa gas yang kemudian akan di *recycle* menuju reaktor DME. Air sebagai produk bawah distilasi dialirkan menuju *wastewater treatment* unit utilitas. Diagram purifikasi DME ditunjukkan pada Gambar 6.

IV. MATERIAL BALANCE

Hasil perhitungan *material balance* pra-desain pabrik *Dimethyl Ether* dari gas alam melalui *direct process* dengan kondisi pabrik 330 hari/tahun dan 24 jam/hari dengan basis waktu 1 jam untuk *feed* masuk berupa gas alam sebanyak 40040,573kg/jam menghasilkan produk utama berupa *Dimethyl Ether* sebanyak 36.697,742 kg/jam [2].

V. ANALISA EKONOMI

Salah satu parameter dalam pendirian suatu pabrik adalah analisa ekonomi. Dengan analisa ekonomi dapat diketahui apakah pabrik tersebut layak untuk didirikan atau tidak. Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam penentuan untung rugi dalam mendirikan pabrik DME adalah [6]:

1. Laju pengembalian modal (*Rate of Return*).
2. Waktu pengembalian modal (*Pay Out Time*).

3. Titik impas (*Break Event Point*).
4. *Interest Rate of Return* (IRR).

Untuk menentukan faktor-faktor di atas terlebih dahulu perlu diketahui [6]:

1) *Total Capital Investment* (TCI)

Total Capital Investment adalah jumlah modal yang diperlukan untuk mendirikan suatu pabrik *Total capital investment* dibagi atas dua bagian, yaitu *Fixed Capital Investment* (FCI) dan *Working Capital Investment* (WCI).

2) *Total Production Cost* (TPC)

Total production cost (total biaya produksi) terdiri dari *Manufacturing Cost* (Biaya Produksi) dan *General Expenses* (Biaya Umum).

3) *Profitability*

Beberapa asumsi yang digunakan dalam analisa ini adalah umur pabrik 15 tahun dengan kapasitas produksi sebagai berikut:

1. Tahun pertama 80%,
2. Tahun kedua samapi kesepuluh 100%,
3. Pajak pendapatan 30% dari laba kotor.

Gambar 7 menunjukkan grafik BEP. Dari hasil perhitungan pada neraca ekonomi yang tertera pada Tabel 7 didapatkan sebagai berikut:

- | | |
|--------------------|-------------------------------|
| 1. Modal Investasi | : Rp 2.709.985.035.056/ tahun |
| 2. Biaya Produksi | : Rp 1.804.737.785.743/ tahun |
| 3. Hasil Penjualan | : Rp 2.856.638.643.598/ tahun |
| 4. IRR | : 24,79 % |
| 5. BEP | : 32 % |
| 6. POT | : 3,77 tahun |

VI. KESIMPULAN

Pabrik *Dimethyl Ether* dari gas alam melalui *direct process* ini direncanakan akan didirikan di Provinsi Kalimantan Timur, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kecamatan Anggana, Desa Handil Terusan. Pabrik direncanakan beroperasi secara kontinyu 24 jam selama 330 hari per tahun dengan kapasitas 290.646 ton/tahun. Pembuatan dimethyl ether melalui 4 sektor yaitu Sektor *Reforming*, Sektor *Heat Recovery*, Sektor Sintesa DME, dan Sektor Purifikasi DME. Pabrik *Dimethyl Ether* memiliki nilai IRR (*Internal Rate Return*) sebesar 24,79% dengan POT (*Pay Out Time*) selama 3.77 tahun dan memiliki BEP (*Break Even Point*) sebesar 33%. Dari hasil uraian diatas, segi teknis dan ekonomis pabrik *Dimethyl Ether* dari gas alam melalui *direct process* layak untuk didirikan. *Process flow diagram* pra-desain pabrik *dimethyl ether* dari gas alam melalui *direct process* tertera pada Gambar 8.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi, *Laporan Tahunan Capaian Program dan Kegiatan 2019*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2020.
- [2] D. Q. Kern, *Process Heat Transfer*. New York: McGraw-Hill, 1950.
- [3] S. Karagoz, "Process Design, Simulation, and Integration of Dimethyl Ether (DME) Production from Shale Gas by Direct and Indirect Methods," Chemical Engineering Department: Texas A&M University, 2014.
- [4] A. J. Kidnay, W. R. Parrish, and D. G. McCartney, *Fundamentals of Natural Gas Processing*. New York: Crc Press, 2019.
- [5] Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi, *Neraca Gas Bumi Indonesia 2018-2027*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2018.
- [6] M. S. Peters, K. D. Timmerhaus, and R. E. West, *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. New York: McGraw-Hill, 2003.