

PRARANCANGAN PABRIK DIMETIL ETER (DME) DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) DENGAN PROSES *DIRECT SYNTHESIS* KAPASITAS 15.000 TON/TAHUN

Saltsabita Nourin Adelina^{1,*}, Athaya Farras Sholihah¹, Muhammad Shonhaji¹, Istiqomah Rahmawati¹, Boy Arief Fachri¹, Helda Wika Amini¹, Ditta Kharisma Yolanda Putri¹

¹Program Studi S1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan No. 37, Jember

*Corresponding Author: bitnourin@gmail.com

Abstrak

Dimetil eter (DME) adalah eter alifatik sederhana dengan sifat yang mirip dengan liquefied petroleum gas (LPG) dan penggunaannya meluas ke berbagai bidang seperti propelan aerosol, pelarut, dan manufaktur bahan kimia. Ketika permintaan LPG meningkat dan impor menjadi lebih mahal, DME menawarkan alternatif dan agen substitusi yang menjanjikan untuk produksi LPG. Prarancangan ini menguraikan produksi dimetil eter (DME) dengan kapasitas 15.000 ton/tahun dimetil eter (DME) menggunakan bahan baku utama tandan kosong kelapa sawit (TKKS). TKKS yang sering dianggap sebagai limbah, kaya akan lignoselulosa dan dapat digasifikasi untuk menghasilkan gas sintesis (*syngas*). Proses produksi meliputi lima tahap proses, yaitu persiapan bahan baku, gasifikasi/produksi *syngas*, preparasi *syngas*, sintesis DME dari *syngas*, dan pemurnian produk. Pabrik tersebut diproyeksikan menghasilkan 1.893.939 kg DME per jam dari 9.051.372 kg TKKS. Hasil analisis ekonomi menunjukkan bahwa keuntungan penjualan bersih sebesar Rp32.548.182.059. Tingkat pengembalian investasi (ROI) sebesar 14,78%. Waktu pengembalian modal (Pay Out Time/POT) adalah 4,020 tahun. Dengan demikian, titik impas (BEP) mencapai 46,53%. Berdasarkan evaluasi ekonomi tersebut, maka pabrik Dimetil Eter (DME) dengan kapasitas produksi 15.000 ton per tahun layak untuk didirikan sehingga dapat membantu mengurangi impor LPG, mengelola limbah biomassa, dan menciptakan lapangan kerja.

Kata kunci: dimetil eter, biomassa, gasifikasi, terbarukan, analisis ekonomi.

1. Pendahuluan

Dimetil eter (DME) atau metoksimetana adalah eter alifatik paling sederhana dengan rumus molekul CH_3OCH_3 . DME dapat digunakan sebagai bahan substitusi LPG (Mondal & Yadav, 2019). Sekitar 15 – 20% pencampuran DME dalam LPG tidak akan mempengaruhi struktur, penyimpanan, dan distribusi dari tabung dan perlengkapan LPG lainnya (Fadhilla & Nazarudin, 2023). Kebutuhan LPG mengalami peningkatan tiap tahunnya. Rata-rata pertumbuhan impor LPG pada tahun 2016 – 2020 sebesar 10%. Pemanfaatan DME sebagai bahan bakar di Indonesia diharapkan dapat menekan angka impor LPG. Hal ini didukung oleh pemerintah yang telah mengeluarkan kebijakan untuk mendukung pemanfaatan DME sebagai bahan bakar, seperti pada Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 29 tahun 2013 dan Perpres No.109 Tahun 2020 (KESDM, 2021).

Tandan kosong kelapa sawit dapat digunakan sebagai bahan baku melalui proses gasifikasi dilanjutkan dengan *direct synthesis* untuk menghasilkan dimetil eter. TKKS merupakan

lignoselulosa yang mengandung 39% selulosa, 28% hemiselulosa dan 22% lignin (Raju, 2016). TKKS merupakan biomassa yang potensial untuk produksi *syngas* karena kandungan lignoselulosa yang dapat digasifikasi untuk menghasilkan *syngas* (Ciliberti *et al.*, 2020). TKKS akan digasifikasi sehingga menghasilkan gas sintesis (*syngas*) yang kemudian digunakan sebagai bahan baku sintesis dimetil eter melalui *direct synthesis*. Produk yang dihasilkan berupa dimetil eter dengan kemurnian hingga 99,9%.

Penentuan kapasitas pabrik ditinjau dari ketersediaan bahan baku utama yaitu limbah TKKS yang dipasok dari pabrik penghasil CPO yang berada pada daerah pendirian pabrik. Dapat diperkirakan bahwa limbah TKKS yang dihasilkan oleh pabrik-pabrik penyedia bahan baku utama sebesar 321.063 ton/tahun. Kisaran kapasitas pabrik DME yang sudah ada di dunia berada pada 80.000 – 9.437.000 ton/tahun dan pabrik di Indonesia berada pada 12.000 ton/tahun. Kapasitas produksi pabrik DME ditetapkan mendekati kisaran kapasitas pabrik DME yang telah berdiri di Indonesia sebesar 15.000 ton/tahun.



Berdasarkan perhitungan kebutuhan bahan baku, limbah TKKS yang tersedia cukup untuk memproduksi DME dengan kapasitas tersebut.

2. Deskripsi Proses

2.1 Pemilihan Proses

Senyawa golongan eter umumnya diproduksi melalui dehidrasi alkohol (Shi & Davis, 1995). Dimetil eter (DME) dapat diproduksi menggunakan gas alam, batu bara, metanol, dan biomassa. Secara umum, terdapat dua metode produksi DME yaitu metode langsung dan metode tidak langsung (Bakhtyari & Rahimpour, 2018). Metode langsung (*direct synthesis*), atau *single-step* menggabungkan sintesis metanol dari *syngas* dan dehidrasi metanol dalam satu reaktor. Kelebihan metode ini mencakup efisiensi yang lebih tinggi, pengurangan biaya operasi dan investasi, serta pengurangan emisi gas rumah kaca. Sementara itu, metode tidak langsung (*indirect synthesis*) memproduksi metanol dan DME dalam dua reaktor yang berbeda. Metode ini relatif sederhana, banyak digunakan, dan memiliki investasi modal rendah (Arifushidqi et al., 2021).

Tabel 1. Perbandingan metode proses produksi DME

Parameter	Proses	
	<i>Direct</i>	<i>Indirect</i>
Katalis	Bifungsional (tembaga dan <i>solid acid</i>)	Tembaga (Cu) dan <i>solid-acid</i>
Reaktor	<i>Fixed bed</i> dan <i>slurry phase</i>	<i>Fixed bed</i> , <i>fluidized bed</i> , dan CSTR
Produk samping	Karbon dioksida (CO ₂)	Air (H ₂ O)
Konversi	96%	70%
Suhu	260°C	250 – 280°C
Reaktor		
Tekanan	5 MPa	2 MPa
Reaktor		

Berdasarkan penilaian di atas, maka pabrik dimetil eter dirancang menggunakan metode langsung (*direct synthesis*) dengan katalis CuO-ZnO-Al₂O₃/γ-Al₂O₃.

2.2 Uraian Proses

Uraian proses produksi DME dari TKKS dapat dilihat pada Gambar 1. Produksi dimetil eter dengan metode *direct synthesis* diproduksi melalui 5 tahapan, yaitu:

1. Persiapan bahan baku

TKKS harus melalui proses perlakuan awal berupa pencacahan sebelum gasifikasi. TKKS

diangkut dengan truk ke pabrik dan disimpan dalam gudang (F-111). Setelah itu, TKKS dipindahkan menggunakan *belt conveyor* (J-112) menuju *ball mill* (C-113) untuk memperkecil ukuran partikel, yang berfungsi untuk meningkatkan efisiensi gasifikasi (Yahaya et al., 2019). Selanjutnya, TKKS dikeringkan menggunakan *rotary dryer* (B-110) dari kadar air 14,43% menjadi 9% (Wijono, 2014).

2. Gasifikasi/produksi *syngas*

TKKS digasifikasi menggunakan *fixed bed gasifier*. TKKS yang telah dicacah dan dikeringkan diumpukan ke dalam *gasifier* (R-210) dengan menggunakan *screw conveyor* (J-114). Gasifikasi dilakukan menggunakan oksigen dengan suhu 400°C sebagai oksidan. Reaktor *gasifier* beroperasi pada suhu antara 800°C dan 1000°C serta tekanan 10 atm. Proses gasifikasi menghasilkan *syngas* yang terdiri dari H₂, CO, dan CO₂, serta mengandung komponen lain seperti karbon (C), oksigen (O₂), karbon monoksida (CO), air (H₂O), metana (CH₄), dan abu (ash). Komponen oksigen (O₂), karbon monoksida (CO), air (H₂O), dan metana (CH₄) kemudian dialirkan menuju reaktor *reformer* (R-220) yang digunakan untuk mengonversi gas metana menjadi CO dan H₂ melalui reaksi *steam methane reforming*. Konversi CH₄ sebesar 70% akan tercapai apabila *reformer* beroperasi pada suhu 800°C dan tekanan 10 atm, dengan rasio steam/CH₄ = 2 (Pérez et al., 2021). Gas yang keluar hasil dari reaksi *reformer* ini disebut gas sintesis (*syngas*).

3. Preparasi *syngas*

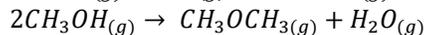
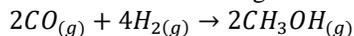
Syngas dari *reformer* mengandung kadar CO₂ yang tinggi (hampir mencapai 50% wt), sehingga perlu dibersihkan untuk mengurangi kandungan CO₂ agar tidak menyebabkan korosi peralatan dan mengganggu kinerja katalis pada reaktor sintesis DME. Proses *cleaning* dilakukan dengan metode absorpsi menggunakan larutan *diethanolamine* (DEA). Sebelum proses absorpsi, *syngas* dari *reformer* dinaikkan tekanannya hingga 20 atm dan didinginkan secara bertahap hingga 75°C menggunakan *cooler*. *Syngas* kemudian diumpukan menuju *absorber* (D-310) dengan larutan DEA 45% wt (*lean amine*) yang dipompa dari tangki penyimpanan (F-321). Produk atas kolom *absorber* adalah *syngas* bersih dengan kadar CO₂ di bawah 5% wt, yang kemudian dipanaskan dan dinaikkan tekanannya sebelum memasuki reaktor sintesis DME. Sementara itu, produk bawah kolom *absorber* merupakan larutan DEA kaya CO₂ (*rich amine*), dipompa menuju kolom *stripper* (D-320) untuk proses regenerasi. Kolom *stripper* ini beroperasi pada



suhu 107°C dan tekanan 4,5 atm dan digunakan *steam* sebagai *stripping agent* untuk melepaskan CO₂ dari larutan DEA. Produk bawah kolom *stripper* merupakan larutan DEA yang telah diregenerasi, dipompa menuju tangki penyimpanan untuk digunakan kembali, sedangkan produk atas kolom *stripper* merupakan *purge gas* yang akan dialirkan menuju unit pengolahan limbah.

4. Sintesis DME

Syngas yang telah dibersihkan dari kolom *absorber* diumpankan menuju reaktor *slurry bed* (R-410) untuk proses sintesis DME. Proses ini terdiri dari dua reaksi simultan yang terjadi secara simultan, yaitu reaksi sintesis metanol dan reaksi dehidrasi metanol menjadi DME. Reaktor beroperasi pada suhu 260°C dan tekanan 50 atm (Ogawa *et al.*, 2003), menggunakan katalis bifungsional *slurry phase* CuO-ZnO-Al₂O₃/γ-Al₂O₃. Reaksi yang terjadi pada reaktor sintesis DME adalah sebagai berikut:



Produk yang dihasilkan dari reaktor terdiri dari metanol, DME, dan air, yang selanjutnya akan diturunkan suhu dan tekanannya hingga 30°C dan 35 atm.

5. Pemurnian produk

Produk dari reaktor selanjutnya dipisahkan menjadi komponen cair dan gas menggunakan *flash drum* (H-510) yang beroperasi pada tekanan 35 atm dan suhu 30°C. Komponen fase gas yang keluar pada bagian atas *separator* terdiri dari O₂, CO, CO₂, H₂, dan CH₄. Sementara itu, komponen cair yang keluar pada bagian bawah *separator* terdiri dari DME, metanol, dan air. Komponen dengan fase cair dari *flash drum* kemudian diturunkan tekanannya hingga 14 atm dan dipanaskan hingga 76,5°C sebelum dialirkan menuju proses pemurnian menggunakan kolom distilasi (D-520). Campuran DME, metanol, dan air selanjutnya didistilasi hingga diperoleh produk atas berupa DME dan produk bawah berupa campuran metanol dan air. Produk atas yang berupa gas dimetil eter (DME) selanjutnya memasuki kondensator yang berfungsi untuk mengkondensasi gas DME menjadi fase *liquid*, kemudian DME berfase *liquid* diumpankan menuju akumulator untuk menampung sementara kondensat yang berasal dari kondensator. Sebagian kecil DME direfluks menuju kolom distilasi dan sebagian besar DME dipompa menuju tangki penyimpanan DME. Produk DME disimpan pada suhu 30°C dan tekanan 14 atm.

Sementara itu, produk bawah kolom distilasi berupa air dan metanol dipompa menuju *reboiler*. Produk *vapor* dari *reboiler* akan direfluks menuju kolom distilasi, sedangkan produk *liquid* dialirkan menuju unit *waste water treatment*.

3. Neraca Massa dan Neraca Energi

Pabrik DME dirancang beroperasi 330 hari/tahun dengan jam kerja yang 24 jam dalam sehari. Berdasarkan perhitungan neraca massa, pabrik Dimetil Eter (DME) dari TKKS membutuhkan bahan baku TKKS sebanyak 9.051,372 kg dan menghasilkan produk Dimetil Eter (DME) dengan kemurnian 99,9% sebanyak 1.893,99 kg. Kebutuhan panas disediakan oleh unit pembangkit *steam* di utilitas. *Steam* masuk pada suhu 500 °C. Total kebutuhan *steam* dengan *make up water* sebanyak 20% sebesar 18.028,673 kg.

4. Utilitas

Utilitas merupakan unit penunjang yang berfungsi untuk memenuhi kebutuhan proses produksi dalam pabrik. Utilitas perlu dirancang sesuai kebutuhan sehingga proses berjalan dengan baik. Berdasarkan kebutuhannya, utilitas pabrik DME diklasifikasikan sebagai berikut:

- Unit pengadaan dan pengolahan air
- Unit pengadaan *steam*
- Unit preparasi katalis
- Unit pengadaan tenaga listrik
- Unit bahan bakar
- Unit pengolahan limbah

Kebutuhan air sanitasi sebanyak 330,200 kg/jam, kebutuhan air pendingin 15.717,869 kg/jam, kebutuhan air umpan *boiler* 13.098,224 kg/jam, dan kebutuhan *steam* 18.028,673 kg/jam. Unit preparasi katalis digunakan untuk mempersiapkan katalis bifungsional, yaitu katalis CuO/ZnO/Al₂O₃ untuk sintesis metanol dan katalis γ-Al₂O₃ untuk dehidrasi metanol. Kedua katalis tersebut dicampur dengan rasio 1:1 dan didispersikan pada *mixing tank* dan dipompa menuju reaktor sintesis DME. Kebutuhan utama listrik pabrik DME akan disuplai dari PT. PLN (Persero) GI Pelalawan dan PLTMG Langgam Power dengan kebutuhan daya 148.587.356,195 kWh/Tahun. Selain itu, akan digunakan suplai daya cadangan dengan menggunakan diesel (*generator*) untuk mendukung kondisi gangguan pemadaman atau *maintenance* penyedia listrik utama dengan daya 96.022.946,732 Btu/jam. Bahan bakar yang digunakan berupa batu bara antrasit dengan total kebutuhan sebesar 4.035.387,503 ton/tahun.



5. Evaluasi Ekonomi

Evaluasi ekonomi dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui layak atau tidak berdirinya pabrik yang telah dirancang. Beberapa hal yang perlu dihitung dalam melakukan evaluasi ekonomi antara lain total modal atau *Total Capital Investment* (TCI), ongkos produksi atau *Total Production Cost* (TPC), keuntungan bersih, lama waktu pengembalian atau *Pay Out Time* (POT), laju pengembalian modal atau *Rate of Investment* (ROI), dan *Break Even Point* (BEP). *Total Capital Investment* (TCI) adalah sejumlah dana yang diperlukan dalam mendirikan sebuah pabrik. TCI dalam hal ini meliputi *Fixed Capital Investment* (FCI) dan *Working Capital Investment* (WCI). *Total Production Cost* (TPC) adalah sejumlah biaya yang diperlukan dalam operasional pabrik. Menurut KBBI, keuntungan di definisikan sebagai mendapatkan untung (laba). Lama waktu pengembalian atau *Pay Out Time* didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan suatu pabrik dalam mengembalikan sejumlah modal yang digunakan. Dalam perancangan ini maksimal waktu yang digunakan yaitu setengah dari umur pabrik (10 tahun).

Laju pengembalian modal atau *Rate of Investment* adalah rasio untung dan rugi dari suatu investasi yang dibandingkan dengan jumlah uang yang diinvestasikan. Nilai ROI harus lebih besar dari pada bunga bank untuk dapat dikatakan pabrik layak didirikan. Bunga bank yang ada pada perhitungan ini adalah 8,05% yang berasal dari Bank Mandiri. *Break Even Point* (BEP) adalah kapasitas dimana pabrik tidak mendapatkan keuntungan atau mengalami kerugian atau dengan perkataan lain hasil penjualan sama dengan ongkos produksi. Nilai BEP harus di antara range 40% s/d 60% untuk dapat dikatakan pabrik layak didirikan. Hasil evaluasi ekonomi pabrik DME terdapat pada Tabel berikut.

Tabel 2. Hasil evaluasi ekonomi pabrik DME

Komponen	Nilai	Kesimpulan
Total Modal	Rp243.157.258.798	
Ongkos Produksi	Rp90.741.648.921	
Keuntungan (Laba bersih)	Rp32.548.182.059	
POT	4,020 tahun	Layak
ROI	14,87%	Layak
BEP	46,53%	Layak

Berdasarkan evaluasi ekonomi dapat disimpulkan bahwa Pabrik DME dari TKKS dengan kapasitas 15.000 ton/tahun ini layak untuk didirikan.

6. Kesimpulan

Berdasarkan uraian dan pembahasan yang terdapat sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

- Pabrik DME berlokasi di Langgam, Kabupaten Pelalawan, Provinsi Riau.
- Bahan baku berupa limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan produksi pada pabrik ini adalah 9.051,372 kg/jam atau 71.686.866,2 ton/tahun dengan produk DME 99,9%.
- Pabrik ini direncanakan beroperasi secara kontinyu selama 330 hari/tahun dan 24 jam/hari.
- Berdasarkan evaluasi ekonomi dapat disimpulkan bahwa Pabrik DME dari TKKS dengan kapasitas 15.000 ton/tahun ini layak untuk didirikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifushidqi, L. K., Muhammad, I., Rahmawati, Y., & Nurkhamidah, S. (2021). Pra Desain Pabrik Dimetil Eter (DME) dari Gas Alam Menggunakan Metode Indirect Process. *Jurnal Teknik ITS*, 10 (1). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i1.62265>.
- Bakhtyari, A., & Rahimpour, M. R. (2018). Methanol to Dimethyl Ether. In *Methanol: Science and Engineering*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63903-5.00010-8>.
- Brownell & Young. (1959). *Process Equipment Design*. John Willey And Sons.
- Ciliberti, C., Biundo, A., Albergo, R., Agrimi, G., Braccio, G., de Bari, I., & Pisano, I. (2020). Syngas derived from lignocellulosic biomass gasification as an alternative resource for innovative bioprocesses. In *Processes*, 8(12), 1–38. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/pr8121567>.
- Fadhilla, P. N., & Nazarudin, S. (2023). Peranan Gasifikasi Batubara Menjadi Dimetil Eter (DME) dalam Bauran Energi Baru dan Kontribusinya pada Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca di Indonesia. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 4(2), 18–31. <https://doi.org/10.14710/jebt.2023.17420>.
- Geankoplis, C.J. 2003. *Transport Processes and Separation Process Principles: Includes Unit Operations*. Prentice Hall Professional Technical Reference. Prentice Hall Professional Technical Reference.
- Himmelblau, D.M., “*Basic Principles and Calculation in Chemical Engineering*”, 1989, Fifth Edition, Singapore
- Kern, D.Q., 1950, *Process Heat Transfer, International Student Edition*, Mc Graw [1]





- Hill, New York. Mc Cabe, Smith and Harriot (1993) "Unit Operations of Chem Engineering", 5 Th. Edition, Mc Graw Hill, Inc. New York.
- KESDM. (2021a). Laporan Kinerja. *Laporan Kinerja Ditjen MIGAS*, 53(9), 1689–1699.
- KESDM. (2021b). Minyak dan Gas Bumi Semester I 2021. *Minyak Dan Gas Bumi Semester I 2021*, 106.
- Mondal, U., & Yadav, G. D. (2019). Perspective of dimethyl ether as fuel: Part I.
- Perry, R.H And, Green, D., 1978, *Perry's Chemical Engineer's Handbook, 8th Ed.*,
- Peters, M.S., Timmerhaus, K.D. & West, R.E. 2003. *Plant Design and Economics For Chemical Engineers*. Mcgraw-Hill Chemical Engineering Series. Mcgraw-Hill Education.
- Smith, J.M. And Van Ness, H.C., 1996, *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, 5th Ed.*,
- Timmerhaus. (2003). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. Mc Graw-Hill.
- Treybal, R. (1981). *Mass Transfer Operations*. Mc Graw-Hill Book Company.
- Ulrich, G. D., & Wiley, J. (1984). *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*.
- Walas, S. M. (1990). *Chemical Process Equipment*. British Library Caralogueing in Publication.

