

PRA-PERANCANGAN PABRIK DIMETIL ETER DARI METANOL DENGAN KAPASITAS 10.000 TON/TAHUN

Achri Isnan Khamil¹, Anandya Zulham Valensyah¹, Eko Saputra Widarianto¹

¹Program Studi S-1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jember

Abstrak

Indonesia merupakan negara berkembang yang mengalami peningkatan kualitas dalam berbagai sektor, termasuk sektor perindustrian. Salah satu industri yang memiliki potensi untuk mendorong pertumbuhan ekonomi di Indonesia adalah industri dimetil eter. Dimetil eter (DME) merupakan senyawa golongan eter dengan rumus molekul C_2H_6O . DME memiliki berbagai aplikasi, termasuk sebagai propelan, agen pendingin, dan bahan bakar alternatif. Produksi DME dapat dilakukan menggunakan berbagai bahan baku seperti gas alam, batu bara, biomassa, dan metanol sebagai bahan baku intermediate. Dalam rancangan pabrik ini, metanol digunakan sebagai bahan baku utama dengan kebutuhan sebesar 13.925,0664061 ton per tahun. Pra rancangan DME ini menggunakan proses dehidrasi metanol. Proses ini dilakukan dalam reaktor fixed bed dengan bantuan katalis CuHZSM-5, pada tekanan 14 atm dan suhu 290°C. Reaktor bekerja secara adiabatik dan reaksi bersifat eksotermis. DME yang terbentuk dipurifikasi menggunakan menara distilasi untuk menghasilkan produk dengan kemurnian 99,84%, dengan jumlah produksi sebesar 10.000 ton per tahun. Pabrik ini direncanakan akan dibangun di kabupaten Bontang, Kalimantan Timur, dengan luas area 5 hektar. Jumlah karyawan yang dibutuhkan sebanyak 170 orang. Hasil analisis ekonomi menunjukkan bahwa laba bersih penjualan sebesar Rp 35.474.222.417,8420. Tingkat pengembalian investasi (ROI) adalah 17,82%. Payback Period (POT) adalah 3,59 tahun. Dengan demikian, Break-even Point (BEP) mencapai 43,98%. Berdasarkan hasil tersebut, pabrik dimetil eter dengan kapasitas produksi 10.000 ton/tahun layak untuk dibangun.

Kata kunci: dimetil eter, metanol, dehidrasi metanol, fixed bed multitube reactor

1. Pendahuluan

Dalam beberapa tahun terakhir, Indonesia telah mengalami pertumbuhan penduduk dan pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan (Wahyu et al., 2016; Yang, 2020; Zhao et al., 2007). Hal tersebut juga berdampak terhadap peningkatan kebutuhan energi. Energi yang digunakan saat ini merupakan bahan bakar berbasis minyak yang termasuk penyebab utama kelangkaan minyak bumi dan menghadirkan tantangan besar bagi lingkungan (Ajeng Puspitasari Yudiputri, Eviana Dewi Setiawati, 2014; Semelsberger et al., 2006; Sun et al., 2014). Solusi dari masalah ini, diperlukan pengembangan bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dan tidak bergantung pada sumber daya minyak bumi, salah satu bahan bakar alternatif yaitu dimetil eter. Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan dimetil eter (DME) sebagai potensi pengganti diesel dalam mesin pengapian kompresi telah menarik perhatian yang signifikan (Prabowo et al., 2017).

Dimetil eter (DME) merupakan senyawa yang mudah menguap dan berubah menjadi fase cair ketika ditekan di atas 0,5 Mpa (Azizi et al., 2014; Sousa-aguiar et al., 2005). DME dapat terbakar dengan nyala api biru dan memiliki sifat yang mirip dengan propana dan butana, sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar gas cair

(LPG) untuk pemanasan dan memasak di rumah (Arcoumanis et al., 2008; Semelsberger et al., 2006). DME dikenal sebagai bahan bakar yang bersih karena beberapa alasan: Pertama, berbeda dengan eter homolog lainnya, DME aman dalam penyimpanan dan penanganan karena tidak membentuk peroksida yang mudah meledak. Kedua, karena DME hanya memiliki ikatan C-H dan C-O tanpa ikatan C-C, serta mengandung sekitar 35% oksigen, hasil pembakarannya menghasilkan emisi karbon monoksida dan hidrokarbon yang tidak terbakar lebih sedikit dibandingkan dengan gas alam. Ketiga, berkat angka cetane yang tinggi, DME dianggap sebagai alternatif yang sangat baik untuk bahan bakar transportasi saat ini karena tidak menghasilkan partikel terbakar dan gas beracun seperti NOx selama proses pembakaran (Ajeng Puspitasari Yudiputri, Eviana Dewi Setiawati, 2014).

Dimetil eter (DME) adalah senyawa organik dengan rumus kimia CH_3OCH_3 yang dapat diproduksi dari berbagai sumber bahan baku seperti gas alam, batubara, dan biomassa (Budya & Yasir, 2011). DME dapat diproduksi dari bahan baku seperti syn-gas dalam proses satu langkah (*one step process*) atau dari metanol dalam proses dua langkah (*two step process*) (Curran et al., 2000; Giuliano et al., 2021). Dalam teknologi sintesis DME, katalis memiliki



peranan utama. Saat ini, katalis yang tersedia dirancang secara khusus dan tidak bersifat umum yaitu CuHZSM-5.

Pasar global untuk DME telah tumbuh secara signifikan selama beberapa tahun terakhir dan diperkirakan akan tumbuh pada kecepatan yang lebih cepat dalam lima tahun ke depan, terutama didorong oleh permintaan di kawasan Asia – Pasifik (Lee et al., 2010; Maria et al., 2009). Saat ini, kebutuhan DME di dalam negeri masih tergantung pada impor dari Tiongkok.

Indonesia hanya memiliki satu pabrik produksi DME dan belum melakukan ekspor DME. Menurut data yang disediakan oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, di Indonesia telah ada pabrik produksi DME di PT. Bumi Tangerang Gas Industri yang terletak di Tangerang, Banten, dengan kapasitas produksi sebesar 3.000 ton per tahun (Ajeng Puspitarsari Yudiputri, Eviana Dewi Setiawati, 2014). Data impor DME di Indonesia tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Impor DME

Tahun	Jumlah Impor (ton/tahun)	Pertumbuhan (%)
2015	91770,975	
2016	67851,27	-0,002606456
2017	57957	-0,001458229
2018	54476,4	-0,000600549
2019	67163	0,002328825
Rata-rata		-0,000584102

Perkiraan kebutuhan DME di Indonesia pada tahun 2026 dihitung dengan menggunakan metode *discounted* sebesar 7869,505442 ton/tahun. Dalam pra-rancangan ini dipilih kapasitas 10.000 ton/tahun dengan pertimbangan sebagai berikut: 1) Dapat mencukupi 100% kebutuhan DME di dalam negeri pada tahun 2026, 2) Memperoleh devisa dikarenakan dapat meng-ekspor DME ke China sebesar 2130,494558ton/tahun dengan laba kotor diperoleh Rp 47.298.963.223,7893, 3) Membuka lapangan pekerjaan baru sehingga dapat menurunkan tingkat pengangguran.

Pemilihan lokasi dapat memiliki dampak yang signifikan dalam pengembangan industri. Beberapa pertimbangan perlu dilakukan berdasarkan beberapa parameter. Salah satu faktor yang sangat penting adalah lokasi pabrik harus dipilih sedemikian rupa sehingga biaya produksi dan distribusi minimal. Ada beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan dalam

memilih lokasi pabrik, seperti ketersediaan bahan baku, pasar yang tersedia, pasokan energi, kondisi iklim, fasilitas transportasi, ketersediaan air, ketersediaan tenaga kerja, legalitas wilayah, dan lain sebagainya. Berdasarkan pertimbangan parameter tersebut, kabupaten bontang diidentifikasi sebagai lokasi yang paling strategis untuk pembangunan pabrik dimetil eter dari metanol.

1. Seleksi dan uraian proses

A. Seleksi

Ada beberapa jenis proses yang digunakan dalam pembuatan DME. Berikut adalah perbandingan jenis proses produksi DME yang tercantum pada tabel 2. Dalam prarancangan pabrik DME ini dipilih pembuatan DME dengan proses dehidrasi metanol berdasarkan: 1) Proses dehidrasi metanol memiliki yield yang lebih besar, 3) Prosesnya cukup ekonomis.

Tabel 2. Seleksi Proses

Parameter	Methanol Dehidration Process	Direct Process	Indirect Process
Suhu	240-260°C	260°C	200-300°C
Tekanan	11-15 atm	30-50 atm	9,8-29,6 atm
Kemurnian Produk	99,988%	99,983%	99,5%
Referensi	(Hosseininejad et al., 2012)	(Darmaja et al., 2021)	(Mevawala et al., 2019)

B. Uraian proses

Saat ini, metode umum yang digunakan dalam produksi DME adalah melalui proses dehidrasi metanol dengan menggunakan metanol sebagai bahan baku utama. Secara keseluruhan, proses produksi industri DME dari metanol ini

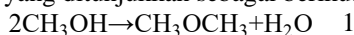
terdiri dari dua tahap utama, yaitu sintesis DME dan purifikasi produk DME.

a. Sintesis DME

Aliran metanol memasuki reaktor *fixed bed multitube* dengan kondisi aliran suhu 240°C dan tekanan 14 atm. Dalam reaktor ini tingkat



konversi metanol mencapai 63%. Reaktor *fixed bed multitube* beroperasi secara adiabatik dan reaksi metanol dehidrasi bersifat eksotermis. Sintesis DME ini menggunakan katalis CuHZSM-5 dengan konsentrasi katalis lebih dari 94%. Reaksi sintesis DME terjadi didalam dengan reaksi yang ditunjukkan sebagai berikut:



b. Purifikasi

Dalam proses pemurnian DME, dilakukan purifikasi produk dimetil eter dari pengotor menggunakan kolom distilasi. Unit purifikasi ini terdiri dari dua tahapan proses. Tahap pertama melibatkan DME kolom distilasi 1, yang bertujuan untuk memisahkan DME dari metanol dan air. Pada tahap ini, dilakukan kondensasi parsial, di mana cairan dengan titik didih yang lebih tinggi dari titik didih DME akan dikembalikan ke kolom distilasi, sementara DME yang terbentuk akan dialirkan dan tekanannya ditingkatkan menggunakan kompresor menuju tangki penyimpanan DME. DME yang dihasilkan dalam proses ini memiliki kemurnian 99,84%. Sebagian produk bagian bawah dari kolom distilasi ini didaur ulang dalam *reboiler* kolom distilasi pada suhu 186°C, sementara sebagian dialirkan menuju DME kolom distilasi 2 pada suhu 82,5°C. Proses distilasi kedua ini bertujuan untuk memisahkan metanol dengan air. Kolom distilasi ini juga menggunakan kondensasi parsial, di mana sebagian produk bagian atas didaur ulang kembali ke tangki akumulator untuk dicampurkan dengan umpan awal (*mixing point*). Produk bagian bawah dari *reboiler* kolom distilasi akan dialirkan menuju pengolahan limbah.

2. Neraca massa dan neraca energi

A. Neraca massa

Berdasarkan perhitungan neraca massa, pabrik dimetil eter dari metanol membutuhkan bahan baku metanol sebanyak 28.200 kg/jam, dan menghasilkan produk DME sebanyak 8.966 kg/jam. Pabrik yang dirancang beroperasi 330 hari/tahun. Jam kerja yang direncanakan dalam pabrik ini yaitu 24 jam.

B. Neraca energi

Pabrik ini melibatkan dua tahap proses, yaitu sintesis DME dan tahap distilasi (purifikasi). Berdasarkan perhitungan neraca energi, tahap sintesis DME membutuhkan energi sebesar 59.436.996 kJ/jam di reaktor *fixed bed multitube*(R-110) Sedangkan pada tahap purifikasi, diperlukan energi sebesar 774.953.804,4959kJ/jam di kolom distilasi 1 (D-210) dan 511.076.544,8056 kJ/jam di kolom distilasi 2 (D -320).

3. Utilitas

Keberhasilan proses produksi sangat bergantung pada utilitas yang digunakan. Utilitas memiliki peran krusial dalam menjaga kelancaran proses produksi dengan tujuan untuk menciptakan keberlanjutan. Dalam perancangan pabrik DME, terdapat beberapa komponen utilitas yang meliputi:

1. Unit pengolahan air: Bagian yang bertanggung jawab untuk memproses air sehingga dapat digunakan dalam berbagai keperluan produksi.
2. Unit penyedia uap: Bertugas untuk menghasilkan uap yang diperlukan dalam beberapa tahap produksi.
3. Unit pembangkit listrik: Berfungsi untuk memasok listrik yang diperlukan dalam seluruh proses produksi pabrik.
4. Unit penyedia bahan bakar: Menghasilkan dan menyediakan bahan bakar yang digunakan dalam berbagai mesin dan peralatan di pabrik.
5. Unit pengolahan limbah: Bertujuan untuk mengolah dan membuang limbah yang dihasilkan selama proses produksi agar sesuai dengan standar lingkungan yang berlaku.

Kebutuhan air pendingin dalam pabrik DME adalah sebanyak 33302,0830 kg/jam. Faktor keamanan dipertimbangkan kebocoran selama pengaliran air, maka disediakan 20% lebih dari jumlah air pendingin pabrik. Sehingga, total kebutuhan air pendingin menjadi 50054,4526 kg/jam. Selain itu, terdapat kebutuhan air umpan boiler sebesar 1228,8289 kg/jam.

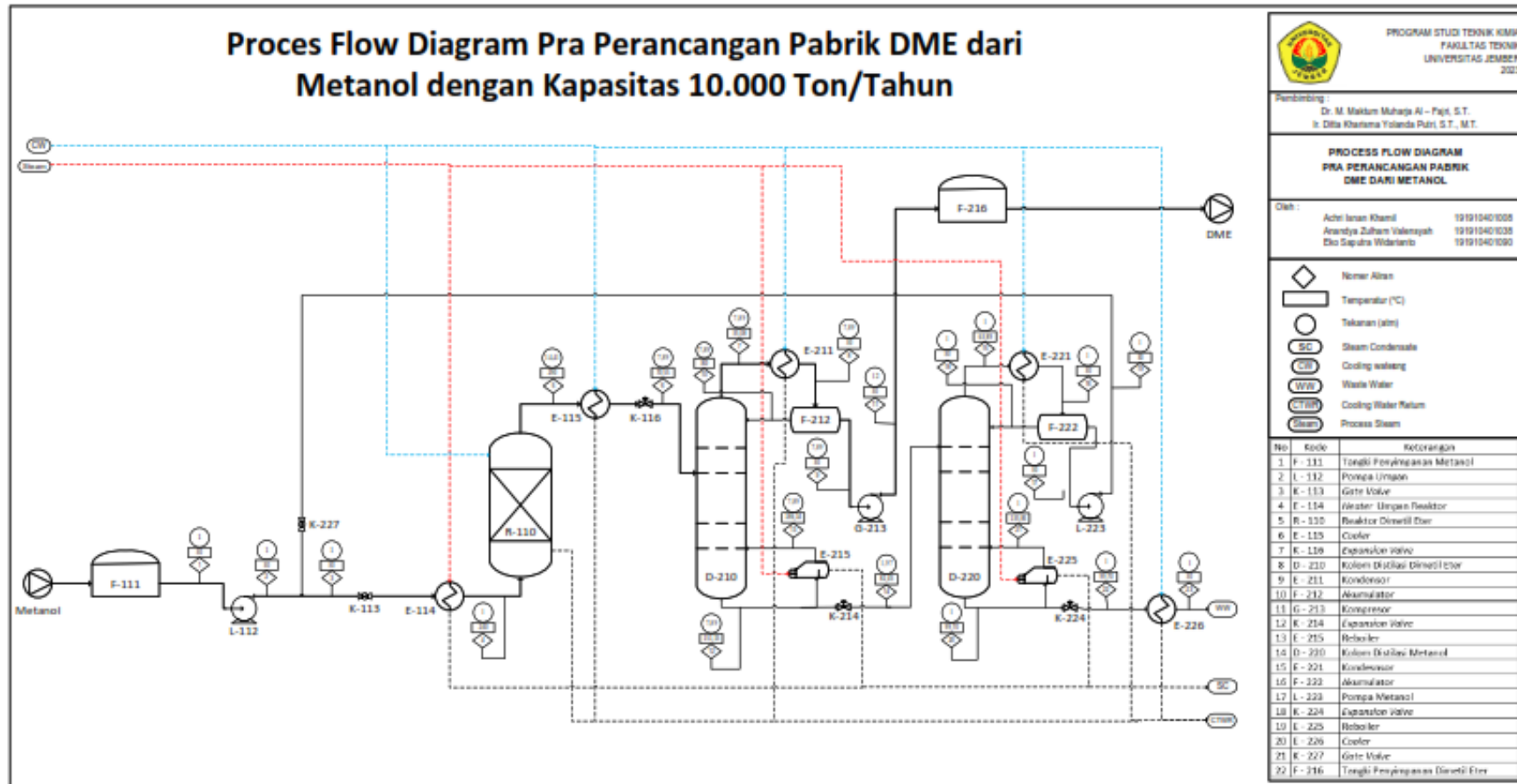
Selanjutnya, diperlukan penyediaan uap steam sebesar 1297,9684 kg/jam. Untuk memenuhi kebutuhan listrik, diperlukan daya sebesar 302,89 kWh. Dalam pabrik ini, pasokan listrik diambil dari PLN. Selain itu, terdapat backup dari generator dengan pasokan kapasitas sebesar 393,4386 kW.

4. Evaluasi Ekonomi

Pabrik DME akan dievaluasi melalui analisis ekonomi. Hal ini bertujuan untuk menentukan kelayakan pabrik DME dan menentukan seberapa besar keuntungan yang dapat diperoleh dari kapasitas produksi. Hasil evaluasi ekonomi pabrik epiklorohidrin tersebut tercantum dalam Tabel 3 sebagai berikut.



Diagram alir proses perancangan pabrik DME dapat ditemukan pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1 Process Flow Diagram (PFD) DME dari metanol

Tabel 3. Analisa Ekonomi

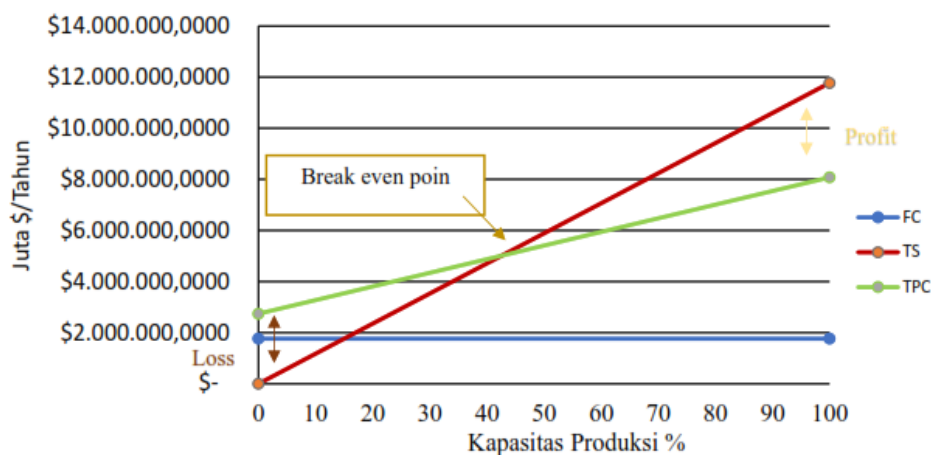
Analisa	Nilai	Range	Keterangan
RoI	17,82%	11-44%	Pabrik layak dibangun
PoT	3,59 tahun	2-5 tahun	Pabrik layak dibangun
BEP	43,98%	40-60%	Pabrik layak dibangun
SDP	15,711%	15-40%	Pabrik layak dibangun

RoI (*Return on Investment*) adalah hasil keuntungan yang diperoleh dari investasi yang dilakukan. RoI dinyatakan dalam persentase per tahun. PoT (*Pay out Time*) adalah periode waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan modal awal dari keuntungan yang diperoleh. BEP (*Break Even Point*) adalah titik di mana pabrik tidak menghasilkan keuntungan atau kerugian. BEP digunakan untuk menentukan harga jual dan jumlah unit yang dibutuhkan untuk mencapai keuntungan. SDP (*Shutdown Point*) adalah titik di mana pabrik harus dihentikan. Hal ini terjadi ketika proses produksi dianggap tidak ekonomis. Grafik evaluasi ekonomi pabrik DME terlihat pada Gambar 2.

6. Kesimpulan

Berdasarkan analisis teknik dan ekonomi pada prarancangan pabrik DME ini, dapat disimpulkan bahwa pabrik akan didirikan di kabupaten Bontang, Provinsi Kalimantan Timur pada tahun 2026. Kawasan ini dianggap cukup menguntungkan karena lokasinya yang strategis berdekatan dengan sumber bahan baku, tenaga kerja, pelabuhan, fasilitas transportasi, dan ketersediaan utilitas. Bentuk perusahaan yang dipilih adalah Perseroan Terbatas (PT), dengan kebutuhan tenaga kerja sebanyak 170 orang. Hasil perhitungan analisis ekonomi menunjukkan *Return on Investment* (ROI) dengan nilai 17,82% dan *Pay Out Time* (POT) dengan periode 3,59 tahun. *Break Even Point* (BEP) mencapai 43,98%, sedangkan *Shut Down Point* (SDP) sebesar 15,711%. Berdasarkan analisis yang dilakukan, disimpulkan bahwa pabrik dimetil eter layak untuk dibangun.

Grafik BEP



Gambar 2 Grafik BEP



Daftar pustaka

- Ajeng Puspitasari Yudiputri, Eviana Dewi Setiawati, G. W. dan W. (2014). Pra Desain Pabrik Dimethyl Ether (DME) dari Gas Alam. *JURNAL TEKNIK POMITS*, 3(2), 10–13.
- Arcoumanis, C., Bae, C., Crookes, R., & Kinoshita, E. (2008). *The potential of dimethyl ether (DME) as an alternative fuel for compression-ignition engines : A review.* 87, 1014–1030. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2007.06.007>
- Azizi, Z., Rezaeimanesh, M., Tohidian, T., & Rahimpour, M. R. (2014). Dimethyl Ether: A Review of Technologies and Production Challenges. *Chemical Engineering & Processing: Process Intensification.* <https://doi.org/10.1016/j.cep.2014.06.007>
- Budya, H., & Yasir, M. (2011). Providing cleaner energy access in Indonesia through the megaproject of kerosene conversion to LPG. *Energy Policy*, 39(12), 7575–7586. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.02.061>
- Curran, H. J., Fischer, S. L., Dryer, F. L., & Al, C. E. T. (2000). *The Reaction Kinetics of Dimethyl Ether . II : Low- Temperature Oxidation in Flow Reactors.*
- Darmaja, A., Kartikasari, I. R., Wibawa, G., & Tetrisyanda, R. (2021). *Pra-Desain Pabrik Dimethyl Ether dari Gas Alam Melalui Direct Process.* 10(2), 0–6.
- Giuliano, A., Catizzone, E., & Freda, C. (2021). Process Simulation and Environmental Aspects of Dimethyl Ether Production from Digestate-Derived Syngas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(2). <https://doi.org/10.3390/ijerph18020807>
- Hosseinijad, S., Afacan, A., & Hayes, R. E. (2012). Catalytic and kinetic study of methanol dehydration to dimethyl ether. *Chemical Engineering Research and Design*, 90(6), 825–833. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2011.10.007>
- Lee, S., Cho, W., Song, T., & Ra, Y. (2010). *SCALE UP STUDY OF DME DIRECT SYNTHESIS TECHNOLOGY.* May 2008.
- Maria, R., Alves, D. B., & Augusto, C. (2009). *A Review of Sustainable Energy – Recent Development and Future Prospects of Dimethyl Ether (DME)* (Vol. 27). Elsevier Inc. [https://doi.org/10.1016/S1570-7946\(09\)70249-4](https://doi.org/10.1016/S1570-7946(09)70249-4)
- Mevawala, C., Jiang, Y., & Bhattacharyya, D. (2019). Techno-economic optimization of shale gas to dimethyl ether production processes via direct and indirect synthesis routes. *Applied Energy*, 238(January), 119–134. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.044>
- Prabowo, B., Yan, M., Syamsiro, M., Setyobudi, R. H., & Biddinika, M. K. (2017). *State of the Art of Global Dimethyl Ether Production and It ' s Potential Application in Indonesia.* 54(March), 29–39.
- Semelsberger, T. A., Borup, R. L., & Greene, H. L. (2006). *Dimethyl ether (DME) as an alternative fuel.* 156, 497–511. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2005.05.082>
- Sousa-aguiar, E. F., Gorestin, L., & Mota, C. (2005). *Natural gas chemical transformations : The path to refining in the future.* 101, 3–7. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2004.12.003>
- Sun, J., Yang, G., Yoneyama, Y., & Tsubaki, N. (2014). *Catalysis Chemistry of Dimethyl Ether Synthesis.*
- Wahyu, W., Muharam, Y., & Wienda, Y. (2016). Journal of Natural Gas Science and Engineering. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 29, 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2015.12.053>
- Yang, A. (2020). *Production of Dimethyl Ether (DME) for Transportation Fuel.*
- Zhao, Z., Chaos, M., Kazakov, A., & Dryer, F. L. (2007). *Reaction and a Comprehensive Kinetic Model of Dimethyl Ether.* x, 1–18. <https://doi.org/10.1002/kin>