

Optimalisasi Produksi Di-Metil Eter dari Syngas Menggunakan Perangkat Aspen HYSYS

Di-Methyl Ether Production from Syngas Optimization using Aspen HYSYS software

Ira Galih Prabasari^{1*}, Niken Pusparani Permata², Winny Laura Christina Hutagalung³, Fetty Febriasti Bahar³, Dyah Kumalasari³

¹Teknik Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi

²Energie Ingenieurwesen, Angewandte Ingenieurwissenschaft, Hochschule Kaiserslautern, Germany

³Pusat Unggulan IPTEKS Bio-Geo Material dan Energi Universitas Jambi

Email: iragalih@gmail.com

Article history: Received 14-06-2024, Accepted 20-08-2024, Published 16-09-2024

Abstrak

Gas elpiji yang saat ini umum digunakan merupakan senyawa turunan dari gas alam yang berasal dari senyawa fosil serta digolongkan pada sumber energi yang tidak bisa diperbaharui. Dalam upaya menjaga ketahanan energi nasional, perlu adanya alternatif pengganti gas elpiji yang berasal dari senyawa non fosil, salah satu alternatif pengganti gas elpiji tersebut adalah senyawa dimetil eter (DME). Senyawa ini memiliki sifat yang sama dengan propana dan butana yang merupakan senyawa pembentuk gas elpiji, sehingga DME dapat didistribusikan dan disimpan menggunakan teknologi penanganan gas elpiji. DME umumnya diproduksi dari reaksi dehidrasi metanol, dimana untuk produksi bersih, metanol yang digunakan berasal dari syngas yang berasal dari biomassa. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan optimalisasi produksi DME dari reaksi dehidrasi metanol menggunakan perangkat Aspen HYSYS dengan 2 variabel bebas yaitu fraksi mol gas H₂ pada syngas serta nilai kalor pada Cooler 1. Hasil simulasi menunjukkan kondisi optimal fraksi mol H₂ pada syngas adalah 0,5999 untuk menghasilkan produk DME terbesar, sementara untuk memisahkan produk DME dari senyawa sisa reaksi guna mendapatkan hasil DME yang lebih besar dibutuhkan 2 buah alat pendingin yang berfungsi untuk menurunkan suhu hingga mencapai DME dalam fasa cair.

Kata kunci: aspen; DME; syngas

Abstract :

LPG gas which is currently commonly used is a derivative compound of natural gas derived from fossil compounds and is classified as a non-renewable energy source. In an effort to maintain national energy security, it is necessary to have an alternative to LPG gas derived from non-fossil compounds, one of the alternatives to LPG gas is the dimethyl ether (DME) compound. This compound has the same properties as propane and butane which are LPG gas forming compounds, so DME can be distributed and stored using LPG gas handling technology. DME is generally produced from the dehydration reaction of methanol, where for clean production, the methanol used comes from syngas derived from biomass. This study aims to optimize the production of DME from the methanol dehydration reaction using Aspen HYSYS device with 2 independent variables, namely the mole fraction of H₂ gas in syngas and the heating value of Cooler 1. The simulation results show that the optimal condition of the H₂ mole fraction in syngas is 0.5999 to produce the largest DME product, while to separate the DME product from the remaining reaction compounds to get a larger DME yield, 2 cooling devices are needed to reduce the temperature to reach DME in the liquid phase.

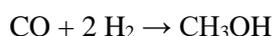
Keywords: aspen; DME; syngas;

1. Pendahuluan

Gas elpiji merupakan salah satu kebutuhan primer masyarakat Indonesia saat ini. Badan Pusat Statistik Indonesia pada tahun 2021 mencatat sebanyak 82,78% rumah tangga di Indonesia menggunakan gas elpiji untuk memasak [1]. Gas elpiji yang saat ini beredar di Indonesia adalah gas elpiji yang berasal penyulingan minyak mentah atau dari kondensasi gas alam. Dengan kata lain gas elpiji berasal dari sumber energi fosil yang bersifat *non-renewable*. Meskipun cadangan gas alam di Indonesia saat ini masih cukup besar, namun alternatif pengganti gas elpiji yang berasal dari sumber-sumber *non-renewable* perlu dilakukan untuk menjaga ketahanan energi Indonesia. Salah satu alternatif pengganti gas elpiji adalah senyawa di-metil eter atau DME. Penggunaan DME sebagai pengganti gas elpiji dikenal memberikan dampak yang ramah lingkungan sebab senyawa ini tidak bersifat karsinogenik, tidak mutagenik dan tidak beracun, selain itu pembakarannya tidak menghasilkan asap, DME dinilai mudah terurai di udara dan dapat meminimalisir efek gas rumah kaca hingga 20% [2].

Di-metil eter atau biasa disingkat dengan DME merupakan senyawa dengan rumus kimia CH_3OCH_3 . Senyawa ini adalah golongan senyawa eter yang paling sederhana, merupakan gas tidak berwarna yang dapat digunakan sebagai prekursor untuk senyawa organik lain. DME memiliki titik didih -24°C , titik lebur -141°C , kepadatan $2,11 \text{ kg/m}^3$ serta berat molekul $46,07 \text{ g/mol}$ [3]. Senyawa ini diperkirakan mampu menggantikan gas elpiji karena memiliki sifat kimia maupun fisika yang sama dengan elpiji [3][4][5]. Kementrian ESDM tahun 2010 menjelaskan bahwa salah satu bahan bakar alternatif pengganti elpiji yang memiliki potensi untuk dikembangkan dan ramah lingkungan adalah DME, karena tidak menghasilkan gas emisi berupa CO_2 , NO_x , dan SO_x pada proses pembakaran [2]. Selain itu DME hasil produksi bersih yang berasal dari syngas mampu menggantikan gas elpiji yang berasal dari senyawa fosil. DME memiliki sifat yang sama dengan propana dan butana yang merupakan senyawa pembentuk elpiji, sehingga DME dapat didistribusikan dan disimpan menggunakan teknologi penanganan elpiji. Penggunaan DME sebagai pengganti gas elpiji telah dilakukan di Jepang [6]. Selain itu sebagai pengganti elpiji, DME memiliki efisiensi pembakaran yang lebih baik karena mudah terurai di udara sehingga tidak merusak ozon, DME juga menghasilkan api yang lebih stabil [7].

DME umumnya diproduksi dari reaksi dehidrasi metanol pada reaktor *fixed bed* [8]. Untuk produksi bersih metanol yang digunakan pada proses produksi DME berasal dari syngas hasil gasifikasi bahan bakar padat non-fosil [9][10]. Syngas dihasilkan melalui proses gasifikasi biomassa, dimana pada proses gasifikasi tersebut senyawa senyawa ultimate pada biomassa terdekomposisi menjadi CO dan H_2 yang dikenal sebagai senyawa syngas. Senyawa syngas ini banyak digunakan untuk pembentukan senyawa lain seperti metanol, DME, polipropilen dan senyawa hidrokarbon lainnya. Pada reaksi pembentukan DME, gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi akan direaksikan menjadi metanol pada suhu 225°C dan tekanan $45 - 50 \text{ atm}$ [5][11] menggunakan katalis Cu/ZnO menurut reaksi:



Metanol hasil reaksi ini kemudian dimasukkan dalam reaktor dehidrasi dengan tipe *fixed bed* reaktor pada suhu 260°C dan tekanan $15 - 20 \text{ atm}$ menggunakan katalis Al_2O_3 untuk menghasilkan DME melalui reaksi:



Untuk menghasilkan kondisi optimal pada proses produksi DME, dilakukan simulasi menggunakan perangkat simulasi proses. Perangkat simulasi proses dapat melakukan perhitungan otomatis terhadap neraca massa, neraca energi, perhitungan desain alat, termasuk kondisi optimal untuk memaksimalkan produksi [12][5]. Pada penelitian ini dilakukan simulasi untuk mengetahui kondisi optimal aliran syngas yang digunakan serta jumlah energi pada alat penukar panas untuk menghasilkan hasil DME yang maksimal. Simulasi proses pada penelitian ini menggunakan perangkat simulasi proses Aspen HYSYS V12.0 yang diperkenalkan oleh Aspen Technology Inc. USA. Perangkat simulasi Aspen HYSYS V12.0 biasanya digunakan untuk senyawa-senyawa hidrokarbon, proses kimia dan minyak bumi. Perangkat simulasi ini pertama kali dirilis pada bulan Desember 2012 yaitu dengan versi AspenOne V8.0 kemudian pada tahun 2016 diperkenalkan AspenOne V9, di tahun 2017 diluncurkan AspenOne V10 mewakili lompatan yang

signifikan dibandingkan dibandingkan dengan versi sebelumnya, tidak hanya dalam hal grafis tetapi juga fungsionalitas [13]. Aspen HYSYS V12.0 sendiri diluncurkan pada bulan Oktober 2020 dan kini telah dikembangkan versi terbaru yaitu Aspen HYSYS V14.0.

Penelitian bertujuan untuk menemukan kondisi optimal proses pembuatan DME menggunakan syngas dengan menggunakan proses simulasi sebagai pra-pilot project untuk mendapatkan kondisi optimal yang bisa diaplikasikan dalam skala yang lebih besar.

2. Metode Penelitian

a) Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kuantitatif dengan menggunakan sebuah simulasi proses yang menggambarkan kondisi proses sesungguhnya.

b) Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Januari 2024 berlokasi di Program Studi Teknik Kima Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi.

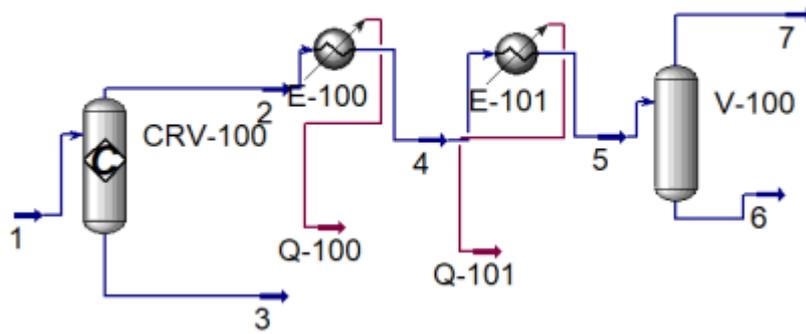
c) Alat yang digunakan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah perangkat simulasi Aspen HYSYS V12.0.

d) Prosedur Penelitian

Deskripsi Proses. Deskripsi proses digambarkan pada Gambar 1, pemilihan *simulation environment* pada perangkat Aspen HYSYS V12 diawali dengan mengumpulkan syngas ke *conversion reactor* (CRV-100). Input data terdiri dari suhu sebesar 225°C, tekanan sebesar 45,6 bar, fraksi mol CO dan H₂ masing-masing sebesar 0,3 dan 0,7, serta massa total bahan baku syngas sebesar 100 kg/jam. Senyawa ini diumpukan ke dalam *conversion reactor* (CRV-100) melalui aliran 1 dimana pada reaktor ini terjadi reaksi pembentukan metanol dilanjutkan dengan reaksi dehidrasi metanol. Hasil dari kedua reaksi ini adalah senyawa DME, sisa metanol dan sisa syngas pada suhu 1.044 °C dan tekanan 45,6 Bar yang keluar pada aliran 2. Campuran senyawa hasil reaksi ini kemudian didinginkan secara bertahap menggunakan alat pendingin (E-100 dan E-101) hingga diperoleh suhu -96,88 °C dan tekanan 45 bar. Pendinginan ini bertujuan untuk mengkondensasikan senyawa DME dan metanol, sementara senyawa syngas tetap dalam fasa gas. Hal ini untuk memudahkan proses pemisahan. Aliran keluar alat pendingin yaitu aliran 5 memiliki kondisi vapour fraction 0,5801 dan dimasukkan ke alat pemisah 2 fasa (V-100) untuk memisahkan fraksi uap dan cair. Produk DME yang keluar dari bagian bawah separator melalui aliran 6 masih mengandung metanol dan air untuk dimurnikan lagi lebih lanjut. Sementara aliran 7 yang keluar dari bagian atas separator adalah sisa gas syngas. Data output yang diperoleh dari simulasi ini adalah massa produk DME yang dihasilkan. Tampilan proses pada aplikasi Aspen HYSYS V12.0 diperlihatkan pada Gambar 1.

Parameter Simulasi. Simulasi proses dilakukan dengan parameter sebagai berikut: *fluid package* yang digunakan NRTL-ideal. Reaktor yang digunakan adalah *Conversion Reactor* yang terdiri dari 2 reaksi yaitu reaksi pembentukan metanol dan reaksi dehidrasi metanol dengan konversi masing-masing 75% [8]. Cooler E-100 memiliki delta P sebesar 20 kPa dan nilai kalor (*duty*) 100.000 kJ/jam. Karena suhu yang hendak diturunkan cukup jauh, maka digunakan cooler E-101 sebagai alat pendingin kedua dengan delta P 40 kPa dan nilai kalor (*duty*) 300.000 kJ/jam. Parameter ini diatur untuk mendapatkan suhu yang sesuai untuk memisahkan fraksi gas dan cair. Keluaran dari cooler E-101 dilewatkan ke separator 2 fasa V-100 sehingga fraksi gas berupa sisa syngas akan terpisah dari fraksi cair berupa DME, sisa metanol dan air.



Keterangan:

CRV-100	Reaktor konversi	Aliran 1	Syngas
E-100	Cooler-1	Aliran 2	Hasil reaksi (sisa Syngas, sisa metanol dan DME)
E-101	Cooler-2		
Q-100	Energi dari Cooler-1	Aliran 3	Fraksi cair sisa reaksi
Q-101	Energi dari Cooler-2	Aliran 4	Output Cooler-1
V-100	Separator	Aliran 5	Output Cooler-2
		Aliran 6	Produk DME
		Aliran 7	Sisa syngas

Gambar 1. Flowsheet pada Aspen HYSYS V12.0

e) Data, Instrumen, dan Teknik Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data primer berupa kondisi operasi syngas masuk ke reaktor dan data sekunder hasil simulasi. Analisis data dilakukan menggunakan perhitungan neraca massa. Dari perhitungan neraca massa ini akan diperoleh komposisi optimal CO dan H₂ yang terkandung di dalam syngas untuk menghasilkan produk DME.

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Simulasi pertama kali dilakukan tanpa melakukan modifikasi pada input fraksi mol gas H₂ dan CO, yaitu dengan komposisi 0,7 untuk fraksi mol H₂ dan 0,3 untuk fraksi mol CO. Dari hasil simulasi diperoleh produk DME sebesar 39,65 kg/jam dari total syngas 100 kg/jam. Hasil DME ini cukup kecil jika dibandingkan dengan bahan baku yang dipakai, dimana konversi bahan baku menjadi produk DME hanya 39,65% sementara pada skala laboratorium, konversi bahan baku syngas menjadi DME bisa mencapai 42% [8][14]. Hasil simulasi menunjukkan aliran massa dan kondisi operasi pada masing-masing aliran dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah.

Tabel 1. Aliran Massa dan Kondisi Operasi Masing-Masing Aliran

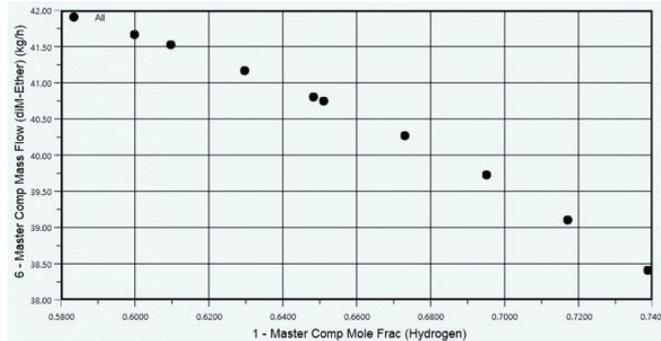
Aliran	Vapour Fraction	Suhu (°C)	Tekanan (Bar)	Mass Flow (kg/jam)				
				CO	H ₂	CH ₃ OH	H ₂ O	DME
1	1	225,0	45,6	85,74	14,260	0	0	0
2	1	1.044,0	45,6	21,43	5,005	18,39	15,51	39,65
3	0	1.044,0	45,6	0	0	0	0	0
4	1	735,3	45,4	21,43	5,005	18,39	15,51	39,65
5	0,58	-96,8	45,0	21,43	5,005	18,39	15,51	39,65
6	0	-96,8	45,0	0,71	0,014	18,39	15,51	39,65
7	1	-96,8	45,0	20,72	4,991	0	0	0

Pada Tabel 1 diatas terlihat bahwa aliran 2 merupakan hasil reaksi pembentukan metanol dan reaksi dehidrasi metanol yang terjadi pada reaktor konversi (CRV-100) dimana pada aliran tersebut masih terdapat sisa gas CO sebanyak 21,43 kg/jam, sisa gas H₂ sebanyak 5,005 kg/jam, sisa metanol sebanyak 18,39 kg/jam

sementara produk DME yang diperoleh sebesar 39,65 kg/jam. Untuk mendapatkan produk DME yang maksimal, maka dilakukan optimalisasi proses dengan cara mengubah komposisi syngas dan kondisi operasi yang digunakan.

Optimalisasi dilakukan menggunakan *case study* yang tersedia pada perangkat lunak ini. *Case study* dilakukan dengan variable bebas berupa fraksi mol gas hidrogen dan nilai kalor pada *Cooler-1* (E-100) dengan variabel terikatnya adalah massa DME yang keluar dari separator.

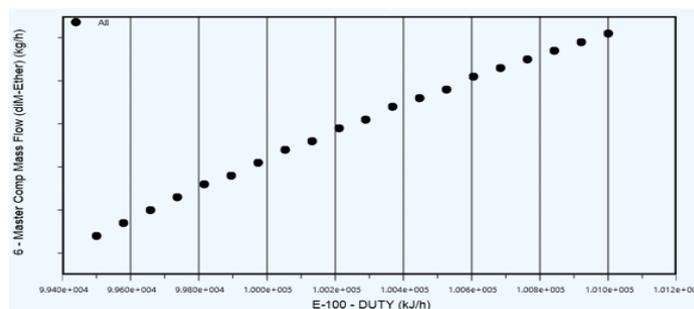
Pada *case study* 1, optimalisasi dilakukan dengan melakukan variasi fraksi mol gas H₂ pada syngas yang masuk ke reaktor. Variasi dilakukan pada rentang 0,5 hingga 0,8. Hasil simulasi digambarkan pada Gambar 1 dibawah.



Gambar 2. Hasil Simulasi Pada Variasi Mol Fraksi Hidrogen

Gambar 2 diatas menunjukkan bahwa massa produk DME tertinggi yaitu sebesar 41,6677 kg/jam terjadi pada fraksi mol gas H₂ yang terkandung pada syngas sebesar 0,5999 sementara pada fraksi mol dibawahnya tidak terbentuk produk DME, hal ini disebabkan jumlah gas H₂ pada syngas untuk reaksi pembentukan metanol tidak cukup [12][15]. Sementara pada fraksi mol gas H₂ diatas 0,5999 produk DME yang diperoleh justru menurun.

Case study 2 dilakukan terhadap variasi nilai kalor pada *Cooler-1* (E-100), *Cooler-1* bertujuan untuk menurunkan suhu gas hasil reaksi keluaran reaktor (CRV-100) dari 1.044°C ke suhu dimana senyawa hasil reaksi berada pada fase gas-liquid untuk memudahkan pemisahan produk dan mendapatkan hasil DME yang maksimal. Hasil simulasi diperlihatkan pada Gambar 3 dibawah.



Gambar 3. Hasil Simulasi Pada Variasi Nilai Kalor *Cooler-1* (E-100)

Dari simulasi diatas, pada *case study* 1 terlihat bahwa komposisi optimal untuk senyawa syngas adalah pada fraksi mol gas H₂ sebesar 0,5999 dan gas CO sebesar 0,4001 atau rasio gas H₂ dan CO adalah 1,5:1. Secara stoikiometri, komposisi ini merupakan komposisi maksimal untuk menghasilkan produk DME terbesar. Pada fraksi mol gas H₂ dibawah 0,5999 akan terjadi kekurangan gas H₂ pada reaksi pembentukan metanol sehingga tidak akan terbentuk produk DME. Sementara pada fraksi mol gas H₂ diatas 0,5999, produk DME yang dihasilkan justru akan menurun karena peningkatan jumlah reaktan tidak akan

mempengaruhi konversi reaksi. Penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa rasio optimal gas H₂ dan CO pada syngas adalah berkisar 1:1 – 1,5:1 untuk menghasilkan DME [14].

Case study 2 lebih cenderung pada proses pemurnian produk DME yang dihasilkan dari reaktor CRV-100, dimana hasil reaksi masih merupakan campuran gas yang terdiri dari sisa H₂, sisa CO, sisa metanol, produk H₂O serta produk DME dengan suhu 1.044°C dan tekanan 45,6 bar. Pada kondisi operasi ini seluruh senyawa berada pada fasa gas. Salah satu cara untuk memisahkan produk DME dari campuran tersebut adalah dengan menurunkan suhu hingga sebagian senyawa berada pada fasa liquid, hal ini akan memudahkan proses pemisahan di separator. Simulasi dilakukan terhadap nilai kalor pada *Cooler-1*, nilai kalor ini menunjukkan kemampuan penurunan suhu yang bisa dicapai oleh alat pendingin. Semakin tinggi nilai kalor maka penurunan suhu akan semakin besar dan produk DME yang dihasilkan akan semakin murni karena fasa cair yang terbentuk semakin besar, diketahui bahwa titik didih DME adalah -24°C. Simulasi pada *case study 2* dilakukan pada rentang kalor 99.500 kJ/jam hingga 101.000 kJ/jam. Rentang ini diambil sesuai kemampuan alat pendingin. Hasil simulasi menunjukkan penurunan suhu maksimal adalah -308,7 °C pada nilai kalor sebesar 101.000 kJ/jam, nilai kalor ini adalah kondisi maksimal yang bisa dicapai oleh alat pendingin yang digunakan. Dengan penurunan suhu tersebut maka suhu campuran senyawa yang keluar dari *Cooler-1* adalah 735,3°C. Pada kondisi ini campuran senyawa masih berada pada fasa gas, maka dibutuhkan alat pendingin lanjut untuk menurunkan suhu campuran dari 735,3°C ke -96,8°C pada *Cooler-2*, pada suhu tersebut produk DME berada pada fasa cair untuk kemudian masuk ke separator 2 fasa, produk DME yang dihasilkan dalam fasa cair akan lebih banyak dan keluar dari bagian bawah separator, sementara gas H₂, CO dan metanol keluar dari bagian atas separator.

Kesimpulan

Optimalisasi proses produksi DME dari umpan syngas melalui reaksi pembentukan dan dehidrasi metanol yang dilakukan dengan simulasi Aspen HYSYS V12 menunjukkan bahwa hasil maksimum produk DME adalah 41,67 kg/jam diperoleh pada komposisi fraksi mol gas H₂ sebesar 0,5999, dibutuhkan 2 buah alat pendingin untuk mendapatkan hasil produk DME yang maksimal dalam fasa cair. Optimalisasi proses masih dibutuhkan pada proses pemisahan 2 fasa agar produk DME yang dilakukan mencapai kemurnian yang tinggi. Pemilihan kondisi operasi juga perlu menjadi sasaran pada penelitian selanjutnya untuk meminimalisir penggunaan energi.

Daftar Pustaka

- [1] BPS, "Republik Indonesia," 2021.
- [2] K. R. I. ESDM, "Grand Strategy Minerba," 2021.
- [3] T. A. Semelsberger, R. L. Borup, and H. L. Greene, "Dimethyl ether (DME) as an alternative fuel," *J. Power Sources*, vol. 156, no. 2, pp. 497–511, 2006, doi: 10.1016/j.jpowsour.2005.05.082.
- [4] Z. Azizi, M. Rezaeimanesh, T. Tohidian, and M. R. Rahimpour, "Dimethyl ether: A review of technologies and production challenges," *Chem. Eng. Process. Process Intensif.*, vol. 82, pp. 150–172, 2014, doi: 10.1016/j.cep.2014.06.007.
- [5] H. Babiker, B. . Karma, and A. A.Mohammed, "AspenHysys Simulation of Methanol to Dimethylether DME," *Int. J. Eng. Trends Technol.*, vol. 46, no. 4, pp. 214–220, 2017, doi: 10.14445/22315381/ijett-v46p237.
- [6] E. Yuliarita, S. Wibowo, and D. Rulianto, "KAJIAN TEKNIK PENGGUNAAN BAHAN BAKAR DME (DIMETHYL ETHER) MURNI SEBAGAI SUBSTITUSI LPG (ELPIJI) PADA BURNER INDUSTRI KECIL (The Effect Of Mixing Palm Oil And Diesel Oil As Diesel Substitutes Against Engine Performances)," vol. 49, no. 2, pp. 5–5, 2015, [Online]. Available: <http://www.journal.lemigas.esdm.go.id>

- [7] S. H. Park and C. S. Lee, "Applicability of dimethyl ether (DME) in a compression ignition engine as an alternative fuel," *Energy Convers. Manag.*, vol. 86, pp. 848–863, 2014, doi: 10.1016/j.enconman.2014.06.051.
- [8] L. J. Melnichuk, K. V. Kelly, and R. S. Davis, "System and Method for Converting Biomass to Ethanol via Syngas," vol. 2, no. 12, 2014.
- [9] P. N. Fadhillah and S. Nazarudin, "Peranan Gasifikasi Batubara Menjadi Dimetil Eter (DME) dalam Bauran Energi Baru dan Kontribusinya pada Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca di Indonesia," *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 4, no. 2, pp. 83–96, 2023, doi: 10.14710/jebt.2023.17420.
- [10] I. G. Prabasari and N. Pusparani, "Model Persebaran Emisi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Berbahan Bakar Serat dan Cangkang Kelapa Sawit Menggunakan Perangkat Pemodelan Aermod," *J. Daur Lingkung.*, vol. 5, no. 2, p. 75, 2022, doi: 10.33087/daurling.v5i2.158.
- [11] E. D. Larson and H. Yang, "Dimethyl ether (DME) from coal as a household cooking fuel in China," *Energy Sustain. Dev.*, vol. 8, no. 3, pp. 115–126, 2004, doi: 10.1016/S0973-0826(08)60473-1.
- [12] E. H. Alshbuki, M. M. Bey, and A. Ala. Mohamed, "Simulation Production of Dimethylether (DME) from Dehydration of Methanol Using Aspen Hysys," *Sch. Int. J. Chem. Mater. Sci.*, vol. 03, no. 02, pp. 13–18, 2020, doi: 10.36348/sijcms.2020.v03i02.002.
- [13] J. Haydary, *Chemical Process Design and Simulation*, 1st ed. Bratislava, Slovakia: John Wiley & Sons, New York., 2019.
- [14] X. D. Peng, A. W. Wang, B. A. Toseland, and P. J. A. Tijm, "Single-step syngas-to-dimethyl ether processes for optimal productivity, minimal emissions, and natural gas-derived syngas," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 38, no. 11, pp. 4381–4388, 1999, doi: 10.1021/ie9901269.
- [15] V. C. Kumar, M., & Srivastava, "Simulation of a Fluidized- Bed Reactor for Dimethyl Ether Synthesis," *Chem. Eng. Technol.*, vol. 33, no. 12, pp. 1967–1978, 2010.