

PRARANCANGAN PABRIK DIMETIL ETER (DME) DARI BATANG TEMBAKAU VIA METODE *INDIRECT SYNTHESIS* DENGAN KAPASITAS 18,000 TON/TAHUN

Darryl Akeyla Rachman^{1,*}, Arighy Zahirah Faiqy Devara¹, Anak Agung Nabilla Azzahrah¹
Sonya Hakim Raharjo¹, Boy Arief Fachri¹, Ditta Kharisma Yolanda Putri¹

¹Program Studi S-1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jember Jl. Kalimantan No. 37,
Jember Jawa Timur, 68121

*E-mail: darrylagent007@gmail.com

Abstrak

Dimetil eter (DME) merupakan senyawa eter alifatik yang memiliki sifat fisik dan karakteristik pembakaran serupa dengan liquefied petroleum gas (LPG), sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan bakar alternatif, bahan pencampur LPG, serta bahan antara dalam industri kimia. Peningkatan konsumsi LPG dan ketergantungan terhadap impor mendorong pengembangan sumber energi terbarukan berbasis bahan baku domestik. Pemanfaatan biomassa sebagai bahan baku produksi DME menjadi salah satu solusi untuk meningkatkan ketahanan energi sekaligus mengurangi limbah pertanian. Studi ini menyajikan perancangan pabrik DME dengan kapasitas 18.000 ton per tahun menggunakan batang tembakau sebagai bahan baku utama. Batang tembakau merupakan limbah pertanian yang mengandung lignoselulosa dalam jumlah tinggi sehingga berpotensi dikonversi menjadi gas sintesis (syngas). Metode sintesis tidak langsung dipilih karena memiliki stabilitas operasi yang lebih baik serta risiko deaktivasi katalis yang lebih rendah dibandingkan metode sintesis langsung. Proses produksi DME terdiri atas enam tahapan utama. Tahap awal meliputi pretreatment bahan baku melalui pengecilan ukuran dan pengeringan. Biomassa selanjutnya dikonversi menjadi syngas menggunakan reaktor gasifikasi tipe downdraft. Syngas kemudian direaksikan dengan katalis $\text{CuO-ZnO-Al}_2\text{O}_3$ untuk menghasilkan metanol. Pemurnian metanol dilakukan menggunakan kolom distilasi guna memisahkan air dan memperoleh metanol dengan kemurnian 99%. Metanol murni selanjutnya didehidrasi menggunakan katalis gamma-alumina untuk menghasilkan DME. Tahap akhir berupa pemurnian produk menggunakan kolom distilasi sehingga diperoleh DME dengan kemurnian 99%. Hasil neraca massa menunjukkan bahwa pabrik mampu memproduksi 2.277,84218 kg DME per jam dari 7.490,829 kg batang tembakau per jam. Analisis ekonomi menunjukkan laba bersih sebesar Rp153.546.834.350 dengan nilai return on investment sebesar 15% dan periode pengembalian modal selama 4,28 tahun. Nilai break-even point dicapai pada kapasitas produksi sebesar 48%. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa pabrik DME yang dirancang layak secara ekonomi serta berpotensi mengurangi ketergantungan impor LPG dan meningkatkan pemanfaatan biomassa terbarukan.

Kata kunci : Analisa ekonomi, dimetil eter, gasifikasi, batang tembakau

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi di Indonesia terus meningkat, salah satunya ditandai dengan konsumsi Liquefied Petroleum Gas (LPG) yang mencapai 8,35 juta ton pada tahun 2018 dan didominasi oleh kebutuhan rumah tangga (95,9%) (KESDM, 2022). Namun produksi LPG dalam negeri relatif tidak meningkat karena keterbatasan bahan baku, sehingga tingginya permintaan LPG sebagian besar disuplai dari impor yang saat ini mencapai 75,84% (Fadhila dan Sinaga, 2023). Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan signifikan antara konsumsi dan produksi LPG sehingga dibutuhkan upaya pengembangan bahan bakar alternatif yang dapat melengkapi LPG untuk memenuhi kebutuhan energi di Indonesia. Salah satu solusi potensial adalah pengembangan dimetil eter (DME) sebagai bahan bakar alternatif campuran LPG

(Darmaja et al., 2021).

Dimetil eter (DME) merupakan eter paling sederhana yang berbentuk gas tidak berwarna, memiliki titik didih rendah, serta bersifat ramah lingkungan (Adelina et al., 2025). Sifat khasnya menjadikan DME dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif yang dapat menggantikan LPG (Chai et al., 2023). Ketersediaan bahan baku untuk produksi DME di Indonesia sangat melimpah, khususnya dari biomassa yang berasal dari limbah pertanian. Pemanfaatan biomassa sebagai bahan baku pembuatan DME tidak hanya mengurangi ketergantungan pada gas alam dan batubara, tetapi juga berkontribusi dalam pengelolaan limbah pertanian yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal (Felixius et al., 2021).

Tembakau dikenal luas sebagai bahan baku utama



industri rokok maupun produk tembakau lain yang dikonsumsi dengan cara dikunyah, dihisap, atau dibakar (Shen et al., 2024). Bagian yang umum dimanfaatkan hanyalah daunnya, sedangkan batang sering kali tidak terpakai. Produksi tembakau global menghasilkan limbah batang hingga 260 juta per tahun (Bareschino et al., 2021). Potensi pemanfaatannya cukup besar karena batang tembakau merupakan biomassa lignoselulosa dengan kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang tinggi sehingga berpeluang digunakan sebagai sumber energi panas maupun bahan baku biofuel bernilai tinggi (Sari et al., 2025). Tembakau memiliki sifat fisik berupa batang yang agak lunak, bulat, dan mempunyai ujung yang makin kecil (Sudianto et al., 2023).

Batang tembakau mengandung selulosa dengan persentase 28 – 40% dari beratnya, yang didominasi oleh polimer kemudian lignin. Komposisi kimia dari batang tembakau antara lain 44% karbon, 7% hidrogen, 43,3% oksigen, 0,9% nitrogen, dan 0,6% sulfur serta 4,2% abu (Elmansy et al., 2022). Kandungan komponen karbon dan oksigen yang lumayan besar menjadikan limbah ini berpotensi sebagai bahan baku pembuatan syngas yang mana akan direaksikan menjadi Dimetil Eter (DME) (Handoko et al., 2021).

Pengembangan industri DME juga relevan dengan isu lingkungan dan transisi energi global, salah satunya adalah sebagai pengganti LPG (Liquefied Petroleum Gas) (Shresta et al., 2024). Saat ini, lebih dari 65% DME yang diproduksi secara global (Brunetti et al., 2020). Pembakaran campuran DME menunjukkan penurunan emisi CO₂ sebesar 30-80% dan penurunan emisi NO_x sebesar 5-15% dibandingkan dengan pembakaran LPG (Chmielarz, 2024). Cina merupakan salah satu produsen dan konsumen terbesar DME di dunia, di mana DME digunakan sebagai pengganti liquefied petroleum gas (LPG) (Permatasari et al., 2024). DME tidak hanya hemat biaya, tetapi juga menurunkan emisi dari infrastruktur LPG sehingga menjadikannya pilihan menarik untuk memasak rumah tangga dan pemanas (Moura et al., 2023).

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). Pasar utama DME berfokus di Asia (85% pasar dunia) di mana DME saat ini digunakan sebagai bahan bakar bersih untuk kebutuhan rumah tangga (Mota et al., 2021). Dengan potensi besar tersebut, pendirian pabrik DME di Indonesia menjadi langkah yang tepat dari sisi ekonomi, sosial, maupun lingkungan. Pemanfaatan biomassa sebagai bahan baku memberikan nilai tambah bagi petani serta

membuka lapangan kerja baru di sektor hilir.

2. Uraian Proses

Pemilihan proses dilakukan untuk mendapatkan proses yang efisien sesuai dengan beberapa pertimbangan. Secara umum Dimetil Eter (DME) dapat diproduksi melalui dua metode, yaitu sintesis secara langsung (*direct synthesis*) dan sintesis secara tidak langsung (*indirect synthesis*) (Bakhtyari & Rahimpour, 2018). Proses *direct synthesis* yang menggunakan katalis bifungsional dan *indirect synthesis* yang menggunakan dua jenis katalis (Cu/ZnO/Al₂O₃ dan γ -Alumina). Proses-proses tersebut umumnya memanfaatkan bahan baku utama berupa bahan kimia, namun juga dapat dibuat dengan biomassa dengan proses gasifikasi untuk menghasilkan syngas.

Tabel 1. Perbandingan proses produksi Dimetil Eter (DME)

Proses	Parameter		
	Suhu	Masalah Utama	Produk Samping
<i>Direct Synthesis</i>	250 – 270°C	Deaktivasi katalis	Karbon dioksida (CO ₂)
<i>Indirect Synthesis</i>	200 – 350°C	Tambahan unit (2 reaktor dan 2 kolom distilasi)	Air (H ₂ O)

Berdasarkan Tabel 1 menunjukkan perbandingan proses pembuatan Dimetil Eter (DME), maka dipilih proses *indirect synthesis* melalui beberapa pertimbangan. Pemilihan proses tersebut didasarkan pada masalah utama yang lebih mudah diatasi, *handling* proses yang lebih mudah dan terkontrol, serta produk samping yang lebih tidak berbahaya.

Proses Pembuatan Dimetil Eter (DME) dapat dibagi menjadi beberapa tahap sebagai berikut.

a. Tahap Persiapan Bahan Baku (*Pretreatment*)

Limbah batang tembakau disortir menuju ke dalam gudang penyimpanan tembakau (F-111) kemudian akan diangkut menggunakan *belt conveyor* (J-112) menuju unit pengeringan berupa *rotary dryer* (B-113) untuk dikurangi kadar airnya dengan bantuan udara atmosfer. *Rotary dryer* yang digunakan dioperasikan dengan pemanas berupa *steam* yang disuplai ke dalam alat proses untuk memanaskan kondisi proses. Setelah proses *drying*, batang tembakau kering kemudian diarahkan menuju *ball mill* (C-110) menggunakan *belt conveyor* (J-114) untuk meningkatkan luas permukaan. Batang tembakau kering yang telah memiliki ukuran lebih kecil kemudian diarahkan menuju *gasifier* (R-210) menggunakan *screw conveyor* (J-214) untuk dilakukan proses gasifikasi biomassa menjadi syngas.

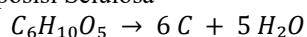


b. Tahap Gasifikasi

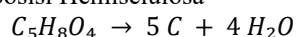
Proses gasifikasi merupakan proses utama yang krusial dalam produksi *syngas* untuk bahan baku utama pembuatan DME. Reaktor gasifikasi (R-210) akan beroperasi pada suhu 700°C dengan tekanan 10 bar. Selama proses gasifikasi, reaktor akan terus dipasok dengan O₂ yang disuplai dari tangki penyimpanan (F-211) berfasa cair dengan tekanan 20 bar dan suhu -183°C. Sebelum diinjeksikan, O₂ cair terlebih dahulu didekompresi menjadi 10 bar menggunakan *expander valve* (K-212), tetapi temperatur aliran O₂ akan turun akibat proses dekomposisi menjadi -191,73. Hal tersebut dapat diatasi dengan menguapkannya menggunakan *vaporizer* (E-213) yang dipanaskan menggunakan udara atmosfer menjadi suhu 20°C. Gas oksigen kemudian diinjeksikan ke dalam reaktor dengan laju alir 4.111,11 kg/jam. Kontrol proses juga diterapkan pada reaktor gasifikasi untuk tetap menjaga temperatur berada pada kondisi yang sesuai dengan *temperature transmitter* (TT) yang menginisiasi *temperatur control* (TC) menuju *pneumatic valve* (K-212) untuk pengaturan lajur alir udara yang masuk. Gas hasil gasifikasi kemudian akan dialirkan menuju *cooler* I (E-215) untuk didinginkan hingga dicapai suhu 30°C. *Syngas* keluaran reaktor (R-210) memiliki jumlah aliran yang besar, oleh karena itu, untuk menurunkan beban energi pendingin, *cooler* I dipecah menjadi 5 *cooler* kecil yang sama besar untuk 5 aliran yang sama juga. Padatan *ash* (karbon sisa pembakaran) dilakukan separasi secara langsung di dalam reaktor gasifikasi karena model *downdraft*-nya yang akan keluar melalui bagian bawah reaktor, sehingga dapat diperoleh aliran murni *syngas* tanpa padatan yang terikut. Pada proses gasifikasi juga memiliki beberapa reaksi yang terjadi, yaitu reaksi dekomposisi biomassa dengan oksigen dan reaksi-reaksi lainnya. Persamaan reaksinya yang terjadi pada proses gasifikasi dapat dijabarkan sebagai berikut.

- Reaksi dekomposisi biomassa

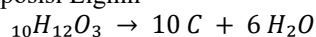
Dekomposisi Selulosa



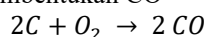
Dekomposisi Hemiselulosa



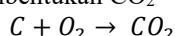
Dekomposisi Lignin



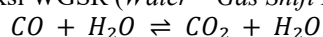
- Reaksi Pembentukan CO



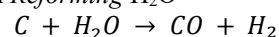
- Reaksi Pembentukan CO₂



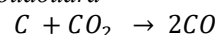
- Reaksi WGSR (*Water – Gas Shift Reaction*)



- Reaksi *Reforming* H₂O



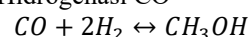
- Reaksi *Boudouard*



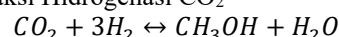
c. Tahap Sintesis Metanol

Proses pembentukan metanol diinisiasi dengan pengompresian aliran *syngas* menggunakan kompresor (G-314) untuk dicapai tekanan proses sebesar 50 bar. Hasil proses kompresi tersebut, aliran yang keluar tidak hanya bertekanan, tetapi juga memiliki suhu yang sesuai dengan kondisi operasi reaktor yaitu 255°C. Aliran fluida panas dan bertekanan tersebut diatur menggunakan *control valve* I (K-315) sebagai kontrol proses tekanan reaksi agar tetap stabil. Reaktor bertipe *packed bed reactor* (PBR) (R-310) disuplai dengan katalis CZA yang dialirkan dari tangki penyimpanan katalis (F-311) menggunakan *pneumatic conveyor* (J-312) untuk suplai katalis segar menuju reaktor dan keluar dari reaktor dengan *pneumatic conveyor* (J-313) untuk katalis yang telah terdeaktivasi nantinya. Sebelum memasuki reaktor, aliran tersebut dahulu dicampur dengan arus *recycle* dengan *mixer* (X-316). Aliran air yang memasuki reaktor akan keluar dengan produk berupa metanol dan air serta beberapa reaktan yang tidak terkonversi. Aliran tersebut perlu melalui *gas expander* (G-318) dan *cooler* II (E-321) terlebih dahulu untuk didekompresi menjadi 10 bar dan didinginkan hingga 30°C untuk tercapai campuran 2 fasa VLE. Aliran kemudian dipisahkan dengan *flash drum* (H-320) untuk pemisahan aliran produk <23> (likuid) dengan reaktan yang tidak terkonversi <24> (uap), sehingga dapat diumpankan kembali menuju reaktor sebagai arus *recycle* yang dialirkan sebesar 38,8% dari aliran uap yang terbentuk dari VLE yang dijaga dengan *control valve* II (K-322). Reaksi pada *syngas* antara H₂, CO, dan CO₂ memiliki beberapa jalur reaksi yang terjadi. Reaksi yang berlangsung selama tahap ini adalah sebagai berikut.

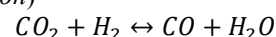
- Reaksi Hidrogenasi CO



- Reaksi Hidrogenasi CO₂



- Reaksi r-WGSR (*Reverse Water – Gas Shift Reaction*)



d. Tahap Pemurnian Metanol

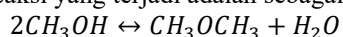
Proses pemurnian atau pemisahan metanol-air dilakukan setelah reaksi pembentukan metanol menggunakan kolom distilasi pada suhu ruangan dan tekanan 15 bar. Aliran likuid produk yang keluar dari *flash drum* (H-320) akan mengalami penurunan



tekanan akibat *pressure drop* dari proses separasi menjadi 1 atm. Aliran *liquid* keluaran tersebut akan melalui *control valve* III (K-323), kemudian akan dipompa menuju kolom distilasi dengan pompa sentrifugal (L-411), sehingga diperoleh perbedaan tekanan menjadi 10 bar ketika memasuki kolom distilasi. Sebelum memasuki kolom distilasi (D-410), aliran perlu dijaga dengan *control valve* IV (K-412) yang digunakan untuk mengatur konsentrasi *light key* (metanol) berada di 99,5% kondensat. Aliran pada kondensat didinginkan dengan kondesor (E-413) bertipe *partial condenser* untuk tetap menjaga aliran distilat dalam fasa uapnya, tetapi mengubah fasa aliran *reflux* dengan nilai *reflux ratio* sebesar 1,5 menjadi cair. Aliran komponen berat berupa air yang ada di bawah akan dipanaskan kembali menggunakan pemanas (E-415) untuk menciptakan fasa uap agar kembali naik bersuhu 100°C. Kontrol proses temperatur juga perlu diterapkan pada bagian *reboiler* tersebut untuk tetap menjaga temperatur dalam kondisi operasi yang optimal dengan menggunakan *control valve* V (K-414).

e. Tahap Sintesis Dimetil Eter (DME)

Proses pembentukan DME memiliki proses yang sama dengan kondisi tekanan serta temperatur yang hampir sama pula, yaitu sebesar 250°C dan 50 bar. Proses diawali dengan hal yang sama, yaitu dilakukan kompresi aliran dari 15 bar menjadi 50 bar menggunakan kompresor (G-514) yang menghasilkan suhu 182°C, kemudian pemanasan kembali menggunakan *heater* I (E-515) agar suhu menjadi 250°C. Kontrol proses tetap dijaga menggunakan *control valve* VI (K-516) untuk menjaga tekanan operasi dalam reaktor. Sebelum memasuki reaktor dengan tipe yang sama, yaitu *packed bed reactor* (PBR) (R-510) dengan katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ yang dipasok dari gudang penyimpanan katalis (F-511) menggunakan *pneumatic conveyor* (J-512) untuk suplai katalis segar menuju reaktor dan keluar dari reaktor dengan *pneumatic conveyor* (J-513) untuk katalis yang telah terdeaktivasi nantinya. Aliran uap bertekanan yang memasuki reaktor akan keluar dengan produk berupa DME dan air. Sama dengan proses pada reaktor sintesis metanol (R-310), aliran tersebut perlu melalui *gas expander* (G-518) menjadi tekanan 10 bar dengan suhu keluaran menjadi 386,5°C dan *cooler* (E-519) terlebih dahulu untuk didinginkan menjadi suhu 30°C hingga menjadi fasa 100% likuid. Reaksi pembentukan DME atau reaksi *methanol dehydration* merupakan reaksi yang terjadi selama proses dalam reaktor. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut.



f. Tahap Pemurnian Dimetil Eter (DME)

Proses pemisahan DME – air memiliki proses yang sama dan terjadi setelah reaksi pembentukan DME menggunakan kolom distilasi pada suhu

ruangan, tetapi dilakukan pada tekanan 10 bar. Aliran produk yang keluar dari *cooler* III kemudian akan mengalir menuju *control valve* VII (K-611) untuk pengaturan tekanan aliran menjadi 1 bar yang kemudian dipompa menuju kolom distilasi dengan pompa sentrifugal (L-612) menjadi tekanan 10 bar. Sebelum memasuki kolom distilasi (D-610), aliran perlu dijaga dengan *control valve* VIII (K-613) yang digunakan untuk mengatur konsentrasi *light key* berupa DME pada kondensat. Aliran pada kondensat didinginkan dengan kondesor (E-614) dengan tipe *total condenser* dari suhu atas pada 65°C menjadi 30°C untuk mengubah fasa aliran menjadi cair yang kemudian ditampung di dalam tangki kondensat (F-615). Kontrol proses untuk mengatur konsentrasi (AT) distilat agar memiliki kemurnian 98,5% dipasangkan dan terhubung dengan (AC) pada (K-613) guna mengatur *feed flow rate* yang masuk. Aliran yang tertampung di dalam tangki kondensat tersebut akan terbagi menjadi 2 aliran, yaitu aliran *reflux* dan aliran kondensat hasil pemisahan. Aliran *reflux* tersebut, kemudian diumpankan kembali dengan nilai *reflux ratio* sebesar 14 kali aliran distilatnya. Aliran *heavy key* berupa air yang ada di bawah akan dipanaskan kembali menggunakan pemanas (E-618) untuk menciptakan fasa uap bersuhu 100°C, lalu diumpankan kembali ke dalam kolom distilasi agar dapat menjaga suhu kolom. Kontrol proses temperatur juga perlu diterapkan pada bagian *reboiler* tersebut untuk tetap menjaga temperatur dalam kondisi operasi yang optimal dengan menggunakan *control valve* X (K-617). Aliran distilat keluaran tangki kondensat, kemudian akan mengalir keluar menuju *control valve* IX (K-616) untuk pengaturan tekanan. Aliran distilat tersebut keluar sebagai produk DME untuk kemudian disimpan dalam DME *storage* (F-620). Produk DME perlu berada dalam tekanan 5,1 bar yang dikompresi menggunakan pompa sentrifugal (L-621). Agar kondisi level cairan DME di dalam tangki pada tinggi 6,71 meter, maka *control valve* XI (K-622) dipasangkan untuk melakukan kontrol level (LC) yang terhubung dengan *transmitter* (LT) pada tangki DME. Kondisi penyimpanan tersebut memungkinkan DME berada dalam fasa cair yang lebih mudah dalam proses distribusi.

3. Neraca Massa & Neraca Energi

Pabrik Dimetil Eter (DME) dirancang beroperasi 330 hari/tahun dengan jam kerja 24 jam dalam sehari. Berdasarkan perhitungan neraca massa, pabrik Dimetil Eter (DME) membutuhkan bahan baku batang tembakau sebanyak 7.490,829 kg/jam dan menghasilkan Dimetil Eter (DME) sebanyak 227,8 kg/jam. Kebutuhan panas disediakan oleh unit pembangkit *steam* di utilitas. *Steam* masuk pada suhu 250°C. Total kebutuhan *steam* yang diperlukan sebesar 3.504,01 kg/jam.



4. Utilitas

Utilitas merupakan salah satu bagian yang sangat diperlukan untuk menunjang jalannya proses dalam suatu industri kimia. Unit utilitas di pabrik Dimetil Eter ini terdiri dari: pengadaan steam, pengadaan air, pengadaan listrik, pengadaan bahan bakar, dan pengolahan limbah. Berdasarkan pada unit poses maka rangkuman kebutuhan bahan penunjang yang harus disediakan secara kontinyu oleh unit utilitas untuk keberlangsungan operasional pabrik Dimetil Eter (DME) dari batang tembakau dengan kapasitas 18.000 ton/tahun, adalah sebagai berikut:

- Unit Pengadaan dan Pengolahan Air
- Unit Pengadaan Steam
- Unit Pengadaan Tenaga Listrik
- Unit Bahan Bakar
- Unit Pengolahan Limbah

Kebutuhan air sanitasi sebanyak 410,4 kg/jam, kebutuhan air pendingin 240.058 kg/jam, kebutuhan air umpan boiler sebanyak 3.053,96 kg/jam, dan kebutuhan steam sebesar 3.504,01 kg/jam. Tenaga listrik yang dibutuhkan untuk bangunan kantor dipenuhi oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN) serta Generator Set digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik proses dan utilitas, dengan total kebutuhan daya sebanyak 111,672 kW/jam. Selain itu, akan digunakan suplai daya cadangan dengan menggunakan bahan bakar berupa High Speed Diesel (HSD generator) untuk mendukung kondisi gangguan pemadaman atau maintenance penyedia listrik utama, dan antrasit coal untuk bahan bakar pada unit gasifier. Bahan bakar yang digunakan berupa bahan bakar High Speed Diesel dengan total kebutuhan sebesar 559,758 liter/jam dan Anthracite coal dengan total kebutuhan sebesar 462,29817 kg/jam.

5. Evaluasi Ekonomi

Evaluasi ekonomi bertujuan untuk menilai kelayakan pendirian sebuah pabrik berdasarkan hasil rancangan yang telah dibuat. Dalam proses ini, beberapa komponen utama yang perlu dianalisis meliputi laju pengembalian modal (Return of Investment/ROI), lama pengembalian modal (Payback Period), dan titik impas (Break Even Point/BEP).

Untuk mengevaluasi faktor-faktor tersebut, diperlukan penilaian terhadap penaksiran modal industri (Total Capital Investment/TCI) yang terdiri dari modal tetap (Fixed Capital Investment/FCI) dan modal kerja (Working Capital Investment/WCI), penentuan biaya produksi total (Total Production Cost/TPC) yang terdiri dari biaya pembuatan (Manufacturing Cost) dan biaya pengeluaran umum (General Expenses), serta total pendapatan. TCI mengacu pada investasi yang dibutuhkan untuk pendirian pabrik dan menjalankannya hingga beroperasi, sedangkan TPC mengacu pada biaya

produksi keseluruhan yang terlibat dalam proses produksi.

Profitability Measure of Investment, yaitu tinjauan kelayakan investasi yang mencakup perhitungan laba kotor dan laba bersih, tingkat pengembalian modal, waktu pengembalian modal, serta titik impas (break even point) yang mengindikasikan saat di mana pabrik tidak menghasilkan keuntungan maupun kerugian. Laba atau keuntungan dapat diartikan sebagai selisih antara total penjualan dan total biaya produksi. Laba terdapat dua jenis, yaitu laba kotor dan laba bersih. Laba kotor merupakan laba sebelum dikurangi pajak. Laba bersih merupakan laba setelah dikurangi pajak.

Pay Out Time (POT) atau Waktu Pengembalian Modal adalah periode waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan modal yang telah dipinjam. Nilai Pay Out Time (POT) harus lebih rendah atau kurang dari umur pabrik sehingga pabrik dapat dikatakan layak.

Laju Pengembalian Modal (Rate of Return/ROR) adalah perbandingan antara laba yang diperoleh setiap tahun dengan modal yang diinvestasikan. Nilai ROI/ROR harus lebih tinggi nilainya dibandingkan dengan bunga bank agar investasi dapat dianggap layak. Dalam studi ini, bunga acuan berasal dari Bank Rakyat Indonesia (BRI) sebesar 6,25%. Titik impas (Break Even Point / BEP) adalah kondisi di mana pendapatan penjualan produk sama dengan biaya produksi. Break Even Point (BEP) juga dapat menggambarkan kapasitas produksi saat pendapatan sama dengan biaya operasional, sehingga tidak ada laba maupun rugi. Suatu pabrik dinyatakan ekonomis dan layak didirikan apabila BEP-nya berada dalam kisaran 40% hingga 60% dari kapasitas produksi maksimum. Rincian hasil evaluasi ekonomi untuk pabrik Asam levulinat dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Evaluasi Ekonomi Pabrik

Parameter	Nilai	Kesimpulan
Total modal	Rp 1.011.653.645.476	
Biaya produksi	Rp 366.797.273.734	
POT	4,28 tahun	Layak
ROR	15%	Layak
BEP	48%	Layak





PRA-RANCANGAN PABRIK DIMETIL ETHER (DME) DARI BAHAN TEMBAKAU VIA METODE INDIRECT SYNTHESIS DENGAN KAPASITAS 18,000 TON/TAHUN

The diagram illustrates the process flow for the synthesis of Dimethyl Ether (DME) from wood chips via indirect synthesis. The process is divided into several functional areas by dashed lines:

- Raw Material Storage:** Includes a wood chip storage tank (1) and a steam storage tank (2).
- Wood Chip Processing:** Wood chips are fed into a wood chip dryer (3) and then a wood chip crusher (4).
- Steam Generation:** The wood chip crusher feeds into a steam generator (5), which produces steam (6).
- DME Synthesis:** The steam generator feeds into a DME synthesis reactor (7), which produces DME (8).
- DME Separation:** The DME synthesis reactor feeds into a DME separation column (9), which separates DME (10) from water (11).
- DME Storage:** The DME separation column feeds into a DME storage tank (12).
- DME Distribution:** The DME storage tank feeds into a DME distribution system (13), which includes a DME pump (14) and a DME storage tank (15).

The diagram also shows the flow of water (16) and air (17) through the system. The process is controlled by a DME control system (18).

KETERANGAN ALAT									
Kode Alat	Nama Alat	Kode Alat	Nama Alat	Kode Alat	Nama Alat	Kode Alat	Nama Alat	Kode Alat	Nama Alat
P-111	Gardam Petyungsuman	E-115a-e	Cofler I	11-306	Flank Drum	P-512	Pyrometric Converter III	E-642	Control Valve VIII
P-112	Redi Converter I	P-311	Handi Kalkula 4-2-A	K-332	Universal Valve II	J-513	Pyrometric Converter IV	B-611	Kolom Distilasi II
P-113	Rotary Dryer	J-312	Photonic Converter I	K-333	Control Valve III	G-514	Pressure	T-516	Condenser IV-Fluid
P-114	Redi Converter II	E-117	Pyrometric Converter II	L-431	Control/Relief Pump I	E-542	Heater I	P-515	Thermi Kondensat
C-109	Redi Mill	G-114	I compressor I	K-412	Control Valve IV	G-616	Control Valve IV	K-616	Control Valve V
P-541	Tangki Pengaliran 200	E-645	Control Valve I	D-149	Kolom Distilasi I	D-510	Reaktor Sistem DOL	E-617	Control Valve X
K-212	Expander Valve I	A-316	Flow Meter	G-413	Condenser I (Phase)	G-518	Gas Expander II	P-618	Reaktor II
P-213	Pyrolog Analyzer	B-111	Reaktor Sistem, Metanol	K-414	Control Valve I	P-549	Control III	L-621	Control/Relief Pump II
J-214	Sieve/Crusher	C-218	Gas Expander I	L-412	Reaktor I	K-611	Control Valve 172	E-622	Control Valve 2
K-210	Reaktor Laminar	A-521a-b	Control II	P-511	Tangki Katalis -> AD135	L-641	Control/Relief Pump I	P-620	Tangki Pengaliran 200

KETERANGAN SIMBOL			
Simbol	Nama	Simbol	Nama
	Daerah Istimewa		Regenerasi Nasional
	SIREG		Daerah Istimewa
	Daerah Istimewa		Daerah Istimewa
	Daerah Istimewa		Daerah Istimewa
	Daerah Istimewa		Daerah Istimewa
	Daerah Istimewa		Daerah Istimewa
	Daerah Istimewa		Daerah Istimewa
	Daerah Istimewa		Daerah Istimewa
	Daerah Istimewa		Daerah Istimewa
	Daerah Istimewa		Daerah Istimewa
	Daerah Istimewa		Daerah Istimewa
	Daerah Istimewa		Daerah Istimewa
	Daerah Istimewa		Daerah Istimewa
	Daerah Istimewa		Daerah Istimewa
	Daerah Istimewa		Daerah Istimewa
	Daerah Istimewa		Daerah Istimewa
	Daerah Istimewa		Daerah Istimewa
	Daerah Istimewa		Daerah Istimewa

[illegible]

Gambar 1. *Process Flow Diagram (P F D)* Pabrik Dimetil Eter (DME)

6. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari uraian Pra- Rancangan Pabrik Dimetil Eter (DME) dengan kapasitas 18.000 ton/tahun adalah sebagai berikut:

1. Pabrik Dimetil Eter (DME) dari batang tembakau ini memiliki kapasitas produksi sebesar 18.000 ton/tahun, beroperasi selama 330 hari/tahun dan 24 jam/hari dengan proses yang digunakan adalah sintesis tidak langsung atau *indirect synthesis*;
2. Bahan baku utama yang digunakan untuk produksi di pabrik ini adalah batang tembakau. Kebutuhan bahan baku utama untuk pabrik ini adalah sebesar 7.490,829 ton kg/jam 59.327.365,68 ton/tahun;
3. Kawasan industri JIPE (*Java Integrated Industrial and Port Estate*) dipilih sebagai lokasi pendirian pabrik, dengan pertimbangan bahan baku, transportasi dan ketersediaan berbagai sumber daya yang ada. Letak pabrik yang berada di kawasan industri juga memudahkan kerjasama dengan industri lain yang dapat memasok sumber daya maupun membutuhkan produk;
4. Pabrik menggunakan enam area atau enam unit proses, yaitu tahap *pre-treatment*, gasifikasi, sintesis metanol, pemurnian metanol, sintesis DME, dan pemurnian DME;
5. Pabrik Dimetil Eter (DME) ini memiliki bentuk usaha Perseroan Terbatas (PT) dengan jumlah karyawan sebanyak 108 orang;
6. Hasil dari perhitungan evaluasi ekonomi, pabrik Dimetil Eter (DME) dinyatakan layak untuk berdiri dengan rincian sebagai berikut:
 - a. *Total Capital Investment*: Rp 1.01.653.645.476;
 - b. *Total Production Cost*: Rp 366.797.273.734;
 - c. Laba bersih per tahun: Rp 153.546.834.350;
 - d. *Pay Out Time* (POT): 4,28 tahun;
 - e. *Rate of Return on Investment*: 15%;
 - f. *Break Event Point* (BEP): 48%;

g. Umur pabrik: 10 tahun.

Dari hasil uraian di atas, ditinjau dari segi teknis, ekonomi, dan lingkungan, pabrik Dimetil Eter (DME) berbasis batang tembakau ini layak didirikan.

Daftar Pustaka

- Abolpour, B., Aboulpour, R., Shamseddini, A., Kamyabi, S., Hamzehee, F. (2013). Optimization of the reflux ratio for Methanol-Water Stage Distillation Column. *Springer: Res Chemical Intermed*, 39, 681-692.
- Adelina, S. N., Sholihah, A. F., Shonhaji, M., Rahmawati, I., Fachri, B. A., Amini, H. W., & Putri, D. K. Y. (2025). Prarancangan Pabrik Dimetil Eter (DME) dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dengan Proses Direct Synthesis Kapasitas 15.000 Ton/Tahun. *Jurnal Tugas Akhir Teknik Kimia*, 8(1), 28-33.
- Agyekum, E. B., Okonkwo, P. C., & Rashid, F. L. (2025). Research on Biomass Energy and CO₂ Conversion to Methanol: A Combination of Conventional and Bibliometric Review Analysis. *Springer*, 4, 4. <https://doi.org/10.1007/s44246-024-00179-0>.
- Ammar, A., K. (2023). *Surface Engineering: Surface Tension and its Measurements*. University of Babylon.
- Arcoumanis, C., Bae, C., Crookes, R., & Kinoshita, E. (2008). *The potential of dimethyl ether (DME) as an alternative fuel*. *Fuel*, 87, 1014-1030.
- 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>.
- Bareschino P., Marrasso, E., & Roseli, C. (2021). Tobacco Stalks as a Sustainable Energy Source in Civil Sector: Assessment of Techno-Economic and Environmental Potential. *Renewable Energy*, 175, 373-390. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.04.101>.
- Brigitta, A. N. P. S., Anggela, P., & Sujana, I. (2023). Usulan Perbaikan Tata Letak Lantai Produksi menggunakan Metode Systematic Layout Planning. *Integrate: Industrial Engineering and Management System*, 7(2), 99-107.
- Brunetti, A., Migliori, M., Cozza, D., Catizzone, E., Giordano, G., & Barbieri, G. (2020). Methanol Conversion to Dimethyl Ether in Catalytic Zeolite Membrane Reactors. *American Chemical Society Sustainable Chemistry and Engineering*, 8, 10471-10479. <https://dx.doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c02557>.
- Chai, M., Chen, Z., Nourozieh, H., Yang, M., & Chai, B. (2023). Introduce dimethyl ether (DME) as a solvent for steam-assisted gravity drainage (SAGD) co-injection: An effective and environmental application. *Fuel*, 341, 127639. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.127639>.
- Chmielarz, L. (2024). Dehydration of Methanol to Dimethyl Ether-Current State and Perspectives. *Catalyst*, 14, 308.

<https://doi.org/10.3390/catal14050308>

- Clarke, M., & Scurry, T. (2020). The Role of The Psychological Contract in Shaping Graduate Experiences: A Study of Public Sector Talent Management Programmes in The UK and Australia. *International Journal of Human Resource Management*, 31(8), 965–991.
- Darmaja, A., Kartikasari, I. R., Wibawa, G., & Tetrisyanda, R. (2021). Pra-Desain Pabrik Dimethyl Ether dari Gas Alam melalui Direct Process. *Jurnal Teknik ITS*, 10(2), 203–209.
- Ernawati, Syam, A. H., & Bas, A. H. M. (2023). Pengaruh Shift Kerja dan Stress Kerja Terhadap Peningkatan Kinerja Karyawan pada CV Media One Mart Group di Makassar. *Jurnal Ekonomi Prioritas*, 3(3), 47–57.
- Etim, U. J., Song, Y., & Zhong, Z. (2020). Improving the Cu/ZnO-Based Catalysts for Carbon Dioxide Hydrogenation to Methanol, and the Use of Methanol As a Renewable Energy Storage Media. In *Frontiers in Earth Science* (Vol. 8). <https://doi.org/10.3389/feart.2020.545431>
- Ezzat, K. H., Ossama, Y., Kamal, N., & Farag. (2015). Risk Assessment for Propane Cooler in Natural Gas liquefaction Plant. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 5, 270–281.
- Fadhilla, P. N., & Sinaga, N. (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. doi: 10.14710/jebt.2023.17420.
- Felixius, V., Angelina, N., & Weslie, T. (2021). Achieving Sustainable Energy Security in Indonesia Through Substitution of Liquefied Petroleum Gas with Dimethyl Ether as Household Fuel. *Indonesian Journal of Energy*, 4(2), 71–86.
- Froment, G. F., Bischoff, K. B., & Wilde, J. D. (2011). *Chemical Reactor Analysis and Design*. New Jersey: John Wiley & Sons, inc.
- Gierse, M., Bogatykh, I., Steinbatch, B., Sauer, J., Repke, J. U., & Salem, O. (2023). Demonstration and Experimental Model Validation of The Synthesis by Reactive Distillation in a Pilot-Scale Pressure Column. *Royal Society Of Chemistry: Chemistry & Engineering*, 8, 2309–2322.
- Gunawan, A. F., Febriantina, S., & Maulida, E. (2025). Analisis Tunjangan Kesejahteraan Karyawan Biro Hukum, Organisasi, dan Sumber Daya Manusia pada Lembaga Kebijakan Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah. *Jembatan Hukum: Kajian Ilmu Hukum, Sosial, dan Administrasi Negara*, 2(3), 1–10. <https://doi.org/10.62383/jembatan.v2i3.2176>.
- Gunawan, B. S., Muthmainah, A., Halimah, I. N. Liviawaty, E., Komarudin, N. & Hermanto, K. P. (2023) Studi Parameter Fisik dan Kimiawi untuk Kelima Jenis Air dengan Perlakuan yang Berbeda. *Jurnal Humaniora, Sosial, dan Bisnis*, 1(6), 654–663.
- Hamed Bateni, & Chad Able. (2019). Development of Heterogeneous Catalysts for Dehydration of Methanol to Dimethyl Ether: A Review. *Catalysis in Industry*, 11(1), 7–33. <https://doi.org/10.1134/S2070050419010045>.
- Hansen, J. B., et al. (2011). DME synthesis technologies. *Chemical Engineering Journal*, 171, 385–392.
- Hasibuan, M. T., Amansyah, Sudiarti, S. (2022). Strategi untuk Meningkatkan Kinerja Karyawan pada Regional 1 PT Pelabuhan Indonesia (Persero). *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 6(2), 8996–9003.
- Herrera, C., Cortes-Reyes, M., Larrubia, M., A Domínguez-Barroso, M. V., Díaz-Rey, M. R., & Alemany, L. J. (2019). Dimethyl ether synthesis via methanol dehydration over Ta-supported catalysts. *Applied Catalysis A: General*, 582, 117088. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apcata.2019.05.022>
- Himmelblau, D. M., & Riggs, B. J. (1996). *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering (Seventh Edition)*. New Jersey: Prentice Hall.
- Ikwan, M., Qiram, I., & Mukhtar, A. (2022). Analisis Produk dan Proses Produksi Bioetanol Limbah Batang Tembakau. *Jurnal V-Mac*, 7(2), 22–26.
- Kusnarjo. (2010). *Desain Pabrik Kimia*. Surabaya: Press
- Liang, B., Ma, J., Su, X., Yang, C., Duan, H., Zhou, H., Deng, S., Li, L., & Huang, Y. (2019). Investigation on Deactivation of Cu/ZnO/Al₂O₃ Catalyst for CO₂ Hydrogenation to Methanol. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 58, 9030–9037.
- Ludwig, Ernest, E. (1994). *Applied Process Design: for Chemical an Petrochemical Plants Volume 2 3rd Edition*. USA: Butterworth – Heinemann.
- Mevawala, C., Jiang, Y., Bhattacharyya, D. (2017). Plant-Wide Modeling and Analysis of The Shale Gas to Dimethyl Ether (DME) Process Via Direct and Indirect Synthesis Routes. *Applied Energy*, 204, 163–180.
- Moghaddam, A. L., & Hazlett, M. J. (2023). Methanol Dehydration Catalyst in Direct and Indirect Dimethyl Ether (DME) Production and the Beneficial Role of DME in Energy Supply and Environmental Pollution. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11, 110307. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.110307>.
- Mondal, U., & Yadav, G. D. (2019). Perspective of



- dimethyl ether as fuel: Part I. Catalysis. *Journal of CO₂ Utilization*, 32(February 2019), 299–320.
- Mota, N., Ordonez, E. M., Pawelec, B., Fierro, J. L. G., & Navarro, R. M. (2021). Direct Synthesis of Dimethyl Ether from CO₂: Recent Advances in Bifunctional/Hybrid Catalytic Systems. *Catalyst*, 11(4), 411. <https://doi.org/10.3390/catal11040411>.
- Moura, C. P. C., Filho, M. A. A., Villardi, H. G. D., Cavalcante, R. M., & Young, A. F. (2023). Process Simulation and Economic Evaluation of an Integrated Production Plant for Methanol, Acetic Acid, and DME Synthesis Via Sugarcane Bagasse Gasification. *Energy Conversion and Management*, 286, 117051. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117051>.
- Muliana, G. H., Dewi, S. A., Musawira, Khalidatunnisa, B., & Sa'diyah, J. (2025). Nicotiana Tabacum L. sebagai Sumber Belajar Morfologi umbuhan dan Anatomi Tumbuhan. *Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 5(2), 501–512.
- Murtafiah, N. H., Yulianti, P. I., Nurjaman, I., & Ridwan. (2024). Konsep Dasar Struktur Organisasi. *Jurnal Penelitian Progressif*, 3(1), 1–8.
- Nahrowi, D., Lasmadi S., Muskibah. (2023). Tanggung Jawan Terbatas Pemegang Saham Perseroan Perorangan dalam Perspektif Perundang-Undangan. *Jurnal Das Sollen*, 9(1), 582–592.
- Ningrum, P. T., Pujianti, R. S., Ma'rufi, I., Moelyaningrum, A. D., Ellyke, & Nurika, G. (2022). *Fakta Terbaru: Kajian Permasalahan Kesehatan dan Dampak Lingkungan*. Jember: Yayasan Wiyata Bestari Semesta.
- Nurlia. (2020). Pengaruh Struktur Organisasi Terhadap Pengukuran Kualitas Pelayanan (Perbandingan Antara Ekspektasi/Harapan dengan Hasil Kerja). *Meraja Journal*, 2(2), 51–66.
- Pangestu, A. G., & Purnama, P. H. (2024). Peran Struktur Organisasi dalam Kunci Sukses Kinerja dan Efisiensi Karyawan Koperasi Laboratorium Bisnis Politeknik Negeri Bandung. *Indonesian Journal of Public Administration Review*, 1(4), 1–9.
- Panjaitan, R., & Lestari, N. S. (2025). Strategi Manajemen dalam Mendukung Kesejahteraan Mental Karyawan di Industri Pabrik. *Jurnal Penelitian Multidisiplin Bangsa*, 1(8), 1111–1120.
- Papavasiliou, J., Avgouropoulos, G., & Ioannides, T. (2021). Catalytic synthesis of dimethyl ether: A review. *Catalysts (MDPI)*, 11, 1–34.
- Permatasari, A. E., Syabila, S. N., Dewi, H. T. A. K., & Zahra, R. N. (2024). Improving Net Energy Efficiency of Dimethyl Ether Production Process from Methanol. *Journal of Chemical Engineering Research Progress*, 1(1), 33–41. <https://doi.org/10.9767/jcerp.20091>
- Prabasari, I. G., Perata, N. P., Hutagulung, W. L. C., Bahar, F. F., & Kumalasari, D. (2024). Optimalisasi Produksi Di-Metil Eter dari Syngas menggunakan Perangkat Aspen Hysys. *Jurnal Engineering*, 6(2), 30–36.
- Pradana, M. (2024). *Teori Organisasi di Era Digital*. Jawa Tengah: CV Eureka Media Aksara.
- Pozo, M. E., & Street, W. B. (1983). Fluid Phase Equilibria in The System Dimethyl Ether/Water from 50 to 220 C and Pressures to 500 Bar. *Fluid Phase Equilibria*, 14, 219–224.
- Pulidori, E., Rivera, J. G., Pelosi, C., Ferrari, C., Bernazzani, L., Bramanti, E., Tine, M. R., & Duce, C. (2023). Thermochemical Evaluation of Different Waste Biomasses (Citrus Peels, Aromatic Herbs, and Poultry Feathers) Toward their Use For Energy Production. *Thermo*, 3, 66 – 75.
- Putri, A. D., Ritonga, N., Nurjanah, Zulqarnain, M., & Sukatin, M. (2025). Struktur dan Anatomi Organisasi. *Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 3(5), 625–633.
- Qi, C., Hou, S., Lu, J., Xue, W., & Sun, K. (2020). Thermal Characteristic of Birch and Its Cellulose and Hemiseluloses Isolated by Alkaline Solution. *De Gruyter Holzforchung*, 74(12): 1099 – 1112. <https://doi.org/10.1515/hf-2019-0285>.
- Rafee, A. (2020). Staging of Dimethyl Ether (DME) Synthesis Reactor from Synthesis Gas (Syngas): Direct Versus Indirect Route. *Chemical Engineering Research and Design*, 163, 157–168.
- Rousseu, R. W. (1987). *Handbook of Separation process Technology*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Saffanah, S., Imran, R. A., & Sibarani, A. A. (2023). Usulan Perancangan Tata Letak Lantai Produksi dengan Metode SLP dan Blocplan pada Produk Cutting Steel Pipe di CV. ABC di Cileungsi. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 8(2), 17–27.
- Samfield, M., & Brock, B. A. (2024). *The Heat Capacity of Tobacco: Part II*. USA: Research Department, Liggett and Myers Tobacco Co., Durham.
- Sahebdelfar, S., Bijani, P. M., & Yaripour, F. (2022). Deactivation Kinetics of γ -Al₂O₃ Catalyst in Methanol Dehydration to Dimethyl Ether. *Fuel*, 310 (122443), 1–8.
- Sari, N. H., Sulistyowati, E. D., Suteja, & Zulfadli M. (2025). Bio-Composites from Nicotiana Tabacum Stems Waste; Exploring Cellulose Powder Content and Its Impact on Physical, Mechanical, and Thermal Properties. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 12, 101262. <https://doi.org/10.1016/j.cescee.2025.101262>.
- Siddique, I. J., & Salema, A. A. (2024). Production of

- Syngas from Oil Palm Shell Biomass Using Microwave Gasification. *Energy*, 306 (132468), 1 – 11. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.132468>.
- Semelsberger, T. A., Borup, R. L., & Greene, H. L. (2006). Dimethyl ether (DME) as an alternative fuel. *International Journal of Energy Research*, 30, 501–522.
- Shen, K., Xia, L., Gao, X., Li, C., Sun, P., Liu, Y., Fan, H., Li, X., Han, L., Lu, C., Jiao, K., Xia, C., Wang, Z., Deng, B., Pan, F., & Sun, T. (2024). Tobacco as Bioenergy and Medical Plant for Biofuels and Bioproduction. *Heliyon*, 1(10), e33920. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33920>.
- Shmeis, R. M. A. (2018). *Water Chemistry and Microbiology*. Jordan: Al-Balqa Applied University.
- Shrestha, R., Upreti, A., & Solanki, N. (2023). Synthesis of Dimethyl Ether from Biomass Gasification: A Simulation and Techno-Economic Analysis. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1314, 1-15. doi:10.1088/1757-899X/1314/1/012001.
- Skogestad, S. (2008). *Chemical and Energy Process Engineering*. Norway: NTNU.
- Sofwan, A. G., & Rahayu, A. Y. S. (2021). Analisis Desain Struktur Organisasi. *Jurnal Ilmu Kepolisian*, 15(3), 176-196.
- Sudianto, E. R. (2023). *Tembakau Virginia di Nusa Tenggara Barat*. Nusa Tenggara Barat: PT Nasya Expanding Management.
- Wang, J., Hou, S., Shen, Z., Wen, J., & Qi, C. (2022). Thermal Characteristics and Simulation of Enzymatic Lignin Isolated from Chinese Fir and Birch. *Forest*, 13 (194), 1-14.
- Wulandary, I. R., Ardy, A., Aslamiah, Susanto, E., & Susanto, H. (2020). Pengaruh 5% pada CuO-ZnO-Al₂O₃ sebagai Katalis Bifungsi untuk Sintesis Langsung DME dari Syngas pada Tekanan 15 Bar. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*, 1-6.
- Yudianto, P., Ratnasari, S. L., Hasibuan, S. S., Hamidi, Sutjahjo, G., Winarso, W., Nugrahani, F., Laila, S., Fajri, I., Raihana, & Nuryanto. (2024). Analisis Struktur Organisasi Matriks terhadap Keuntungan Bisnis. *Jurnal Dimensi*, 15(1), 625-633.
- Zhang, H., Chen, J., Han, X., Pan, Y., Hao, Z., Tang, S., Zi, X., Zhang, Z., Gao, P., Li, M., Lv, J., & Ma, X. (2024). High-Performance Cu/ZnO/Al₂O₃ Catalysts for CO₂ Hydrogenation to Methanol. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 63(14), 6210–6221.
- Zhou, L., et al. (2018). Production of dimethyl ether from biomass-derived syngas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 414–423.
- Zhu, H. Traore, K., Santo A., Trush, M. A. & Li, Y. R. (2018). Oxygen and Oxygen Toxicity: The Birth of Concept. *National Library of Medicine*, 1(1), 1-8. doi:10.20455/ros.2016.801.

