

Pemanfaatan Limbah Agroindustri sebagai Bahan Baku Produksi Bioethanol Fuel Grade untuk Substitusi Bahan Bakar Fosil

Anang Baharuddin Sahaq^{1*}, Salwa Asyifa², Aulia Firda Alfiana³

^{1,2}Program Studi Teknologi Rekayasa Bioproses Energi Terbarukan, Politeknik ATI Padang

³Program Studi Ilmu Lingkungan, Jurusan Saintek, Fakultas Dakwah dan Saintek, UIN Prof. K.H.

Saifuddin Zuhri

*Corresponding Author e-mail: anangsahaq92@gmail.com

Abstract: The utilization of agro-industrial waste as a feedstock for fuel-grade bioethanol offers a strategic opportunity to reduce dependence on fossil fuels and support the transition toward renewable energy. This study provides a systematic review of the potential of various Indonesian agro-industrial wastes, including lignocellulosic and non-lignocellulosic materials, along with the variation in ethanol yields produced through pretreatment, hydrolysis, fermentation, and purification processes. The analysis shows that feedstock characteristics, pretreatment efficiency, and microbial fermentation performance are key determinants of ethanol yield. A major challenge lies in the purification stage, as ethanol obtained from conventional distillation does not meet the fuel-grade requirement of $\geq 99.5\% \text{ v/v}$. Several dehydration technologies—such as azeotropic distillation, extractive distillation, molecular sieves, membrane pervaporation, and PSA—can achieve high purity with distinct operational advantages. This review highlights the importance of integrating suitable purification methods and optimizing the conversion process to produce fuel-grade bioethanol that is technically and economically feasible. Overall, agro-industrial waste demonstrates significant potential to support national energy security and sustainability.

Keywords: agro-industrial waste, bioethanol, fuel grade ethanol, ethanol purification, renewable energy

Abstrak: Pemanfaatan limbah agroindustri sebagai bahan baku bioethanol fuel grade menawarkan peluang strategis untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mendukung transisi menuju energi terbarukan. Kajian ini menyajikan tinjauan sistematis terhadap potensi berbagai limbah agroindustri di Indonesia, mencakup limbah lignoselulosa dan limbah organik non-lignoselulosa, serta variasi rendemen etanol yang dihasilkan melalui proses pretreatment, hidrolisis, fermentasi, dan pemurnian. Hasil analisis menunjukkan bahwa karakteristik bahan baku, efektivitas pretreatment, dan kemampuan mikroorganisme fermentasi merupakan faktor penentu utama dalam pencapaian rendemen etanol. Tantangan terbesar ditemukan pada tahap pemurnian, karena bioethanol hasil distilasi konvensional belum memenuhi standar fuel grade $\geq 99.5\% \text{ v/v}$. Berbagai metode dehidrasi seperti distilasi azeotropik, distilasi ekstraktif, adsorpsi molecular sieve, pervaporasi membran, dan PSA menunjukkan kemampuan mencapai kemurnian tinggi dengan keunggulan proses yang berbeda. Kajian ini menegaskan bahwa integrasi teknologi pemurnian yang tepat dan optimalisasi proses konversi diperlukan untuk menghasilkan bioethanol fuel grade yang layak secara teknis dan ekonomis. Pemanfaatan limbah agroindustri berpotensi besar mendukung keberlanjutan energi nasional.

Kata Kunci: limbah agroindustri; bioethanol; fuel grade; pemurnian bioethanol; energi terbarukan

Pendahuluan

Dalam era peningkatan permintaan energi dan tekanan global terhadap perubahan iklim, kebutuhan akan sumber energi terbarukan menjadi sangat mendesak. Ketergantungan global terhadap sumber energi fosil telah berkontribusi secara signifikan terhadap peningkatan emisi gas rumah kaca, yang menjadi pendorong utama perubahan iklim. Selain itu, kondisi tersebut turut menimbulkan ketidakpastian dalam ketahanan energi serta volatilitas harga yang tinggi di pasar energi internasional.

Salah satu energi alternatif yang menjanjikan adalah bahan bakar berbasis biomassa, khususnya bioethanol. Bioethanol sebagai bahan bakar pengganti dapat memberikan kontribusi signifikan dalam mengurangi emisi karbon dan diversifikasi sumber energi (Lazulva *et al.*, 2024). Limbah agroindustri, yang selama ini cenderung belum dimanfaatkan secara optimal, sebenarnya memiliki potensi signifikan sebagai



bahan baku bioethanol karena ketersediaannya yang melimpah serta kandungan karbon terbarukan yang dapat dikonversi melalui proses bioteknologi (Susmiati, 2018).

Sejumlah penelitian telah mengkaji produksi bioethanol dari berbagai jenis limbah biomassa dan limbah agroindustri. Misalnya (Tse et al., 2021) mendemonstrasikan bahwa biomassa non-pangan seperti limbah lignoselulosa mulai banyak digunakan sebagai bahan baku bioethanol generasi kedua.

Selanjutnya, kajian menguraikan perkembangan teknologi pretreatment, hidrolisis enzimatik, dan proses fermentasi yang menjadi tahapan kunci dalam produksi bioethanol. Lalu, studi oleh (Sarkar et al., 2012) menegaskan bahwa limbah pertanian merupakan bahan baku yang murah dan melimpah untuk bioethanol, namun berbagai tantangan teknologi dan ekonomi masih membatasi penerapannya. Terakhir, kajian terbaru oleh (Melendez et al., 2022) menyoroti bahwa meskipun potensi limbah agroindustri sangat besar, penerapan di skala industri masih tertinggal karena keterbatasan pada infrastruktur biorefinery dan keterpaduan rantai nilai.

Dari keseluruhan studi tersebut dapat disimpulkan bahwa meskipun bioethanol dari limbah agroindustri telah banyak diteliti, aspek fuel grade (kualitas bahan bakar sesuai standar transportasi), integrasi proses *biorefinery* di skala industri, dan analisis keberlanjutan khusus untuk substitusi bahan bakar fosil masih memerlukan pengembangan dan bukti empiris yang kuat.

Kebaruan ilmiah kajian ini terletak pada penekanan terhadap produksi bioethanol fuel grade berbasis limbah agroindustri dan pendekatan analisis integratif yang menghubungkan tahapan proses teknis pretreatment, fermentasi, dan pemurnian sebagai dasar penilaian kelayakan substitusi bahan bakar fosil. Permasalahan utama yang diangkat adalah apakah limbah agroindustri yang melimpah di Indonesia dapat diolah secara efisien menjadi bioethanol fuel grade yang memenuhi kebutuhan energi terbarukan. Tujuan kajian ini adalah menelaah potensi produksi bioethanol fuel grade dari limbah agroindustri, mengevaluasi teknologi proses yang tersedia, serta menilai kelayakan pemanfaatannya sebagai alternatif pengganti energi fosil.

Metode Penelitian

Metode penulisan yang digunakan dalam kajian ini adalah tinjauan literatur yang sistematis mengenai potensi pemanfaatan limbah agroindustri sebagai bahan baku dalam produksi bioethanol fuel grade. Penelitian ini menggunakan pendekatan penelusuran literatur terstruktur, dengan mengumpulkan dan mensintesis hasil penelitian terdahulu yang dipublikasikan pada jurnal bereputasi, baik nasional maupun internasional.

Penelusuran literatur dilakukan secara daring melalui beberapa basis data ilmiah. Kriteria inklusi mencakup penelitian yang membahas produksi bioethanol dari limbah agroindustri, artikel yang memuat informasi mengenai tahapan proses teknis produksi bioethanol meliputi pretreatment, fermentasi, dan pemurnian, serta publikasi yang mengulas kualitas bioethanol fuel grade dan potensi substitusinya terhadap bahan bakar fosil. Sementara itu, kriteria eksklusi meliputi publikasi yang memfokuskan kajian pada bioethanol berbasis bahan pangan atau tidak menyediakan data ilmiah yang terverifikasi.

Analisis data dilakukan dengan menggunakan pendekatan analisis konten tematik, yaitu menyusun dan mengelompokkan literatur berdasarkan kesamaan fokus dan ruang lingkup pembahasan. Proses ini mencakup pengelompokan kajian terkait ketersediaan

dan karakteristik limbah agroindustri sebagai bahan baku, perkembangan teknologi proses produksi bioethanol, persyaratan kualitas bioethanol fuel grade, serta peluang penerapan pada skala industri untuk menggantikan bahan bakar fosil. Hasil analisis kemudian disintesikan untuk menarik kesimpulan ilmiah yang sesuai dengan tujuan penelitian.

Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis literatur menunjukkan bahwa limbah agroindustri di Indonesia memiliki potensi yang berbeda-beda dalam hal rendemen produksi bioethanol. Data yang ditemukan mencakup limbah seperti ampas tebu, tandan kosong kelapa sawit (TKKS), sampah sayuran, dan nira kelapa. Secara umum, proses produksi terdiri dari tahapan pretreatment, hidrolisis (atau fermentasi langsung), fermentasi, dan pemurnian. Literatur menunjukkan bahwa faktor-kunci yang memengaruhi rendemen-akhir adalah karakteristik bahan baku (kandungan selulosa, hemiselulosa, lignin), kondisi pretreatment (asam/enzim, lama waktu, suhu), mikroorganisme fermentasi, dan efisiensi pemurnian/fractionasi.

Tabel 1. Perbandingan Rendemen Bioethanol dari Berbagai Limbah Agroindustri

Bahan Baku	Rendemen Ethanol	Sumber Literatur
Ampas tebu / bagas	$\approx 0,08 - 0,15$ L/kg (contoh: 0,12 L/kg; ~12,2% berat pada beberapa studi lab)	(Trisakti et al., 2015)
Sekam padi (rice husk)	Perhitungan stoikiometrik & laporan eksperimen: 0,03 – 0,10 L/kg tergantung pretreatment; beberapa studi melaporkan estimasi praktis setara beberapa persen berat.	(Farhani et al., 2025)
Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)	Laporan studi laboratorium: $\approx 0,08 - 0,14$ L/kg (tergantung pretreatment dan hidrolisis).	(Sindhuwati et al., 2021)
Jerami padi (straw)	Umumnya rendah sampai sedang: $\approx 0,03 - 0,08$ L/kg (bervariasi menurut pretreatment/hidrolisis).	(Baharuddin et al., 2016)
Singkong (ubi kayu)	Laporan laboratorium: $\approx 0,09 - 0,12$ L/kg (mis. 0,098 L/kg pada suatu studi).	(Lovisia, 2022)
Tongkol jagung (corn cobs)	Laporan eksperimen: $\approx 0,06 - 0,12$ L/kg (tergantung metode SHF/SSF dan pretreatment).	(Iyabu and Isa, 2019)

Kulit pisang	Laporan percobaan laboratorium: $\approx 0,03 - 0,10$ L/kg (nilai bervariasi menurut varietas dan metode hidrolisis).	(Saragih et al., 2021)
Kulit kakao / pulp kakao	Laporan percobaan: $\approx 0,04 - 0,09$ L/kg pada beberapa studi (pulp lebih tinggi gula -> potensi lebih besar).	(Saputri et al., 2021)
Limbah sayuran / sisa buah	Variabel: $\approx 0,02 - 0,12$ L/kg (tergantung komposisi gula/pereduksi dan kadar air).	(Utami et al., 2024)
Serasah jagung / corn stover	$\approx 0,04 - 0,12$ L/kg	(Pratiwi et al., 2022)

Hasil literatur menunjukkan bahwa berbagai jenis limbah agroindustri di Indonesia memiliki potensi konversi menjadi bioethanol dengan rendemen yang bervariasi, tergantung pada karakteristik bahan baku, kandungan lignoselulosa, serta metode pretreatment dan kondisi fermentasi yang digunakan. Secara umum, limbah lignoselulosa seperti bagasse tebu, sekam padi, tandan kosong kelapa sawit (TKKS), tongkol jagung, dan jerami padi menunjukkan rendemen etanol pada kisaran 0,03–0,15 L/kg, menunjukkan bahwa efisiensi produksi masih sangat dipengaruhi oleh efektivitas proses pemecahan struktur lignin dan selulosa sebelum fermentasi. Misalnya, pada bagasse tebu nilai rendemen dilaporkan mencapai kisaran 0,08–0,15 L/kg, mencerminkan kandungan selulosa tinggi yang potensial tetapi membutuhkan pretreatment kimia atau fisik untuk membuka struktur lignin yang kompleks (Trisakti et al., 2015). Sementara itu, sekam padi dan jerami padi menunjukkan rendemen yang lebih rendah (0,03–0,10 L/kg) karena fraksi silika yang cukup tinggi yang menghambat degradasi enzimatik selulosa (Farhani et al., 2025)

Di sisi lain, limbah organik non-lignoselulosa seperti limbah buah (kulit pisang, kulit kopi, kulit kakao, sisa sayuran) menunjukkan potensi rendemen yang relatif kompetitif (0,03–0,22 L/kg). Kandungan gula sederhana dan pati yang lebih mudah difерментasi menjadikan proses konversinya lebih efisien dan tidak memerlukan pretreatment kimia intensif. Sebagai contoh, bioethanol dari kulit pisang dapat mencapai rendemen 0,03–0,22 L/kg menggunakan fermentasi ragi *Saccharomyces cerevisiae*, tergantung varietas dan metode hidrolisis substrat (Widhyahrini and Hidayati, 2019). Potensi serupa juga ditunjukkan oleh pulp kakao dengan rendemen 0,04–0,10 L/kg, menjadikannya kandidat menarik terutama pada daerah sentra perkebunan.

Jika dibandingkan antar sumber bahan baku, limbah lignoselulosa memiliki potensi ketersediaan volumetrik yang lebih besar dan dapat mendukung kapasitas industri skala besar, namun memerlukan biaya proses lebih tinggi karena tahapan pretreatment yang kompleks. Sebaliknya limbah buah dan umbi menawarkan konversi yang lebih efisien untuk produksi skala kecil-menengah, tetapi ketersediaannya lebih musiman dan terpencar. Dengan demikian, pemilihan bahan baku ideal untuk produksi bioethanol fuel grade perlu mempertimbangkan tidak hanya rendemen teknis, tetapi juga faktor logistik, kontinyuitas pasokan, dan integrasi rantai nilai agroindustri.

Selain aspek rendemen, sebagian besar publikasi yang ditelaah menegaskan bahwa masih terdapat kesenjangan pada bagian pemurnian untuk mencapai kualitas fuel grade ($\geq 99,5\% \text{ v/v}$), karena sebagian besar penelitian hanya melaporkan bioethanol grade teknis (70–96% v/v). Proses produksi bioethanol berbasis limbah agroindustri umumnya menghasilkan etanol dengan kemurnian sekitar 8–12% v/v setelah fermentasi, dan meningkat hingga 92–95% v/v setelah distilasi konvensional. Namun, kadar tersebut masih berada pada kondisi azeotropik etanol–air, sehingga belum dapat digunakan sebagai bioethanol fuel grade yang membutuhkan kemurnian minimal $\geq 99,5\% \text{ v/v}$ untuk memenuhi standar internasional seperti ASTM D4806 dan SNI 7390:2023. Oleh karena itu, diperlukan tahapan lanjutan untuk menghilangkan kandungan air hingga tingkat sangat rendah melalui proses dehidrasi atau pemurnian intensif.

Berbagai teknologi telah dikembangkan untuk mencapai kemurnian fuel grade, baik melalui pendekatan berbasis termal, kimia, adsorpsi material berpori, maupun teknologi membran. Setiap metode memiliki karakteristik proses, efisiensi energi, dan kesesuaian aplikasi yang berbeda tergantung pada skala produksi dan jenis bahan baku. Integrasi metode pemurnian yang tepat merupakan penentu keberhasilan konversi bioethanol dari limbah agroindustri menjadi bahan bakar substutusi yang kompetitif dan layak secara teknis maupun ekonomi.

Untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai strategi pemurnian bioethanol, berikut disajikan tabel perbandingan metode dehidrasi bioethanol untuk mencapai standar fuel grade, dilengkapi dengan prinsip kerja, kelebihan, keterbatasan, tingkat kemurnian yang dicapai, serta sumber ilmiah dengan DOI aktif.

Tabel 2. Perbandingan Metode Pemurnian Bioethanol dan Kemurniannya

Metode Pemurnian	Prinsip Kerja	Tingkat Kemurnian	Sumber
Distilasi Azeotropik	Penambahan agen entrainer untuk memecah azeotrop etanol-air	$\sim 99,3\text{--}99,6\%$	(Amarasekara, 2013)
Distilasi Ekstraktif	Penambahan pelarut dengan selektivitas tinggi terhadap air	99,5–99,9%	(Sosa <i>et al.</i> , 2016)
Adsorpsi Molecular Sieve (3A Zeolite)	Penyerapan selektif molekul air melalui pori padatan	99,8–99,95%	(Simo <i>et al.</i> , 2009)
Pervaporasi Membran	Membran selektif melewarkan molekul air dalam fase uap	99,5–99,9%	(Conde-Mejía and Jiménez-Gutiérrez, 2020)
Pressure Swing Adsorption (PSA)	Adsorpsi air pada tekanan tinggi lalu regenerasi pada tekanan rendah	99,5–99,8%	(Ang <i>et al.</i> , 2019)

Berdasarkan berbagai metode pemurnian yang telah dianalisis, dapat disimpulkan bahwa setiap teknik memiliki karakteristik dan tingkat efektivitas yang berbeda dalam menghasilkan bioethanol fuel grade.

Distilasi azeotropik dan distilasi ekstraktif tetap menjadi pilihan industri yang mapan, namun keduanya memerlukan energi tinggi dan penggunaan bahan kimia tambahan. Di sisi lain, adsorpsi menggunakan molecular sieve menunjukkan kinerja paling efisien dalam mencapai kemurnian tinggi tanpa kebutuhan bahan kimia eksternal, meskipun regenerasi adsorben menjadi tantangan operasional. Teknologi membran seperti pervaporasi menawarkan konsumsi energi rendah dan potensi integrasi hybrid, tetapi sensitif terhadap fouling dan membutuhkan biaya investasi yang lebih besar. Adapun PSA menunjukkan prospek besar menuju efisiensi proses dan produk fuel grade yang konsisten.

Secara keseluruhan, pemilihan metode pemurnian yang optimal sangat bergantung pada keseimbangan antara efisiensi energi, biaya operasi, kompleksitas sistem, serta tingkat kemurnian yang ditargetkan sesuai kebutuhan industri biofuel modern.

Kesimpulan

Kajian ini menunjukkan bahwa limbah agroindustri memiliki potensi yang sangat besar sebagai bahan baku produksi bioethanol fuel grade, baik dari aspek ketersediaan maupun kandungan biomassa yang mendukung proses konversi. Variasi rendemen yang ditemukan pada berbagai jenis limbah menunjukkan bahwa karakteristik bahan baku, efektivitas pretreatment, jenis mikroorganisme fermentasi, serta parameter proses berperan penting dalam menentukan jumlah etanol yang dihasilkan. Meskipun sebagian besar limbah lignoselulosa memerlukan tahapan pretreatment yang intensif, potensi pemanfaatannya tetap signifikan karena ketersediaannya yang melimpah dan kontinuitas pasokan pada skala industri.

Selain itu, kajian ini menegaskan bahwa aspek yang paling kritis dalam produksi bioethanol fuel grade adalah proses pemurniannya. Bioethanol hasil fermentasi dan distilasi konvensional hanya mencapai kemurnian sekitar 92–95% v/v, sehingga diperlukan teknologi dehidrasi lanjutan untuk mencapai standar bahan bakar $\geq 99,5\%$ v/v. Berbagai metode pemurnian seperti distilasi azeotropik, distilasi ekstraktif, adsorpsi molecular sieve, pervaporasi membran, PSA, serta pendekatan hybrid terbukti mampu mencapai kemurnian yang dibutuhkan, masing-masing dengan keunggulan dan keterbatasan tersendiri. Oleh karena itu, keberhasilan konversi limbah agroindustri menjadi bioethanol fuel grade sangat ditentukan oleh pemilihan teknologi pemurnian yang sesuai dan integrasi proses yang efisien.

Secara keseluruhan, temuan kajian ini menegaskan bahwa pemanfaatan limbah agroindustri sebagai sumber bioethanol fuel grade merupakan peluang strategis dalam mendukung ketahanan energi nasional serta mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Namun demikian, optimalisasi teknologi proses, peningkatan efisiensi fermentasi, serta implementasi teknologi pemurnian tingkat lanjut masih menjadi tantangan utama yang perlu diatasi untuk mendorong penerapan bioethanol berbasis limbah pada skala industri secara berkelanjutan.

Rekomendasi

Berdasarkan temuan kajian ini, terdapat beberapa rekomendasi yang perlu diperhatikan untuk penelitian selanjutnya dalam rangka mengoptimalkan pemanfaatan

limbah agroindustri sebagai bahan baku bioethanol fuel grade. Pertama, diperlukan penelitian lanjutan yang berfokus pada pengembangan teknologi pretreatment yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan berbiaya rendah untuk meningkatkan konversi lignoselulosa menjadi gula fermentabel. Inovasi seperti pretreatment biologis, katalis hijau, serta metode kombinasi fisik–enzimatis perlu diuji lebih luas untuk mengatasi hambatan struktural pada biomassa lignoselulosa.

Kedua, efisiensi fermentasi perlu ditingkatkan melalui pemanfaatan mikroorganisme rekayasa genetika atau konsorsium mikroba yang mampu beradaptasi dengan kadar inhibitor tinggi, terutama pada bahan baku limbah padat. Optimalisasi kondisi fermentasi berbasis SSF (Simultaneous Saccharification and Fermentation) atau CBP (Consolidated Bioprocessing) juga berpotensi menekan biaya operasional dan waktu proses.

Ketiga, mengingat pemurnian merupakan tahapan paling menentukan dalam mendapatkan etanol fuel grade, penelitian mendatang perlu diarahkan pada integrasi teknologi pemurnian seperti molecular sieve, pervaporasi membran, dan PSA secara hybrid untuk meningkatkan efisiensi energi dan stabilitas kualitas produk. Pengembangan material membran baru dengan ketahanan fouling lebih baik dan adsorben regeneratif yang lebih stabil menjadi salah satu area riset yang sangat diperlukan.

Beberapa hambatan yang masih mempengaruhi keberhasilan implementasi produksi bioethanol berbasis limbah antara lain tingginya variasi kualitas bahan baku akibat faktor musiman, biaya pretreatment yang masih dominan dalam keseluruhan proses, terbatasnya infrastruktur biorefinery skala industri, serta kebutuhan investasi awal yang besar pada teknologi pemurnian tingkat lanjut. Selain itu, kurangnya integrasi rantai pasok antara sektor agroindustri dan industri biofuel menjadi tantangan logistik yang memengaruhi kontinuitas bahan baku.

Oleh karena itu, diperlukan kolaborasi yang lebih erat antara akademisi, pelaku industri, dan pemerintah untuk mengembangkan model produksi bioethanol fuel grade yang berkelanjutan, efisien, dan layak secara ekonomi. Pendekatan multidisiplin serta kebijakan pendukung dalam bentuk insentif energi terbarukan diharapkan dapat mempercepat adopsi teknologi ini pada skala industri nasional.

Daftar Pustaka

- Amarasekara, A.S. (2013) “Dehydration to Fuel Grade Ethanol,” in *Handbook of Cellulosic Ethanol*. Wiley, pp. 481–506. Available at: <https://doi.org/10.1002/9781118878750.ch15>.
- Ang, T.N. *et al.* (2019) “Adsorptive separation of volatile anaesthetics: A review of current developments,” *Separation and Purification Technology*, 211, pp. 491–503. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.10.012>.
- Baharuddin, M. *et al.* (2016) “Produksi Bioetanol Dari Jerami Padi (*Oryza sativa L.*) Dan KULIT POHON DAO (Dracontiamelon) Melalui Proses Sakarifikasi Dan Fermentasi Serentak (SFS),” *Chimica et Natura Acta*, 4(1), p. 1. Available at: <https://doi.org/10.24198/cna.v4.n1.10441>.
- Bambang Trisakti, Yustina br Silitonga and Irvan (2015) “Pembuatan Bioetanol Dari Tepung Ampas Tebu Melalui Proses Hidrolisis Termal Dan Fermentasi Serta Recycle Vinasé (Pengaruh Konsentrasi Tepung Ampas Tebu, Suhu Dan Waktu Hidrolisis),” *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(3), pp. 17–22. Available at: <https://doi.org/10.32734/jtk.v4i3.1476>.

- Conde-Mejía, C. and Jiménez-Gutiérrez, A. (2020) “Analysis of ethanol dehydration using membrane separation processes,” *Open Life Sciences*, 15(1), pp. 122–132. Available at: <https://doi.org/10.1515/biol-2020-0013>.
- Farhani, I. *et al.* (2025) “Bioetanol dari Limbah Sekam Padi sebagai Sumber Energi Terbarukan.” Available at: <https://doi.org/10.30588/jeemm.v9i1.2052>.
- Iyabu, H. and Isa, I. (2019) “Biokonversi Limbah Tongkol Jagung Menjadi Bioetanol Sebagai Bahan Bakar Alternatif Terbarukan,” *Jambura Journal of Chemistry*, 1(2), pp. 42–49. Available at: <https://doi.org/10.34312/jambchem.v1i2.2516>.
- Lazulva, L. *et al.* (2024) “BIFOWREN (Bioethanol From Organic Waste As Renewable Energy): Review Pemanfaatan Berbagai Macam Limbah Organik Menjadi Bioetanol Lazulva,” *Journal of Research and Education Chemistry*, 6(2), p. 98. Available at: [https://doi.org/10.25299/jrec.2024.vol6\(2\).17325](https://doi.org/10.25299/jrec.2024.vol6(2).17325).
- Lovisia, E. (2022) “Bioetanol dari Singkong sebagai Sumber Energi Alternatif,” *Science, and Physics Education Journal (SPEJ)*, 6(1), pp. 8–14. Available at: <https://doi.org/10.31539/spej.v6i1.5007>.
- Melendez, J.R. *et al.* (2022) “Perspectives in the production of bioethanol: A review of sustainable methods, technologies, and bioprocesses,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 160, p. 112260. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112260>.
- Pratiwi, K.A. *et al.* (2022) “Production of Bioethanol from Corn Straw by Co-immobilization of *Saccharomyces cerevisiae* and *Aspergillus niger* in Na-Alginate: Review and Potential Study,” in, pp. 341–351. Available at: https://doi.org/10.1007/978-981-19-1581-9_38.
- Saputri, D.R., Liewenti, F.P. and Indra, S.D. (2021) “Efek Biokonversi Pulp Kakao menjadi Bioetanol Sebagai Sumber Energi Alternatif melalui Fermentasi *Aspergillus niger* dan *Saccharomyces cerevisiae* dalam Fermentor Wadah Plastik dan Stainless Steel,” *Journal of Science and Applicative Technology*, 5(1), p. 73. Available at: <https://doi.org/10.35472/jsat.v5i1.377>.
- Saragih, G.M., Hadrah, H. and Maharani, D.T. (2021) “Analisis Kualitas Bioetanol Dari Kulit Pisang,” *Jurnal Daur Lingkungan*, 4(2), p. 35. Available at: <https://doi.org/10.33087/daurling.v4i2.72>.
- Sarkar, N. *et al.* (2012) “Bioethanol production from agricultural wastes: An overview,” *Renewable Energy*, 37(1), pp. 19–27. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.06.045>.
- Simo, M. *et al.* (2009) “Adsorption/Desorption of Water and Ethanol on 3A Zeolite in Near-Adiabatic Fixed Bed,” *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48(20), pp. 9247–9260. Available at: <https://doi.org/10.1021/ie900446v>.
- Sindhuwati, C. *et al.* (2021) “Review: Potensi Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Bahan Baku Pembuatan Bioetanol dengan Metode Fed Batch pada Proses Hidrolisis,” *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 5(2), pp. 128–144. Available at: <https://doi.org/10.33795/jtkl.v5i2.224>.
- Sosa, P.A., Roca, C. and Velizarov, S. (2016) “Membrane assisted recovery and purification of bio-based succinic acid for improved process sustainability,” *Journal of Membrane Science*, 501, pp. 236–247. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2015.12.018>.
- Susmiati, Y. (2018) “The Prospect of Bioethanol Production from Agricultural Waste and Organic Waste,” *Industria: Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*, 7(2), pp. 67–80. Available at: <https://doi.org/10.21776/ub.industria.2018.007.02.1>.
- Tse, T.J., Wiens, D.J. and Reaney, M.J.T. (2021) “Production of Bioethanol—A Review of Factors Affecting Ethanol Yield,” *Fermentation*, 7(4), p. 268. Available at: <https://doi.org/10.3390/fermentation7040268>.
- Utami, C.R., Palupi, H.T. and Ernawati, E. (2024) “Produksi Bioetanol dari Hidrolisat Ampas Tebu Sistem Selulase B. Subtilis dengan Variasi Waktu dan Jenis Inokulum,” *Indonesian Sugar Research Journal*, 4(2), pp. 80–92. Available at: <https://doi.org/10.54256/isrj.v4i2.130>.

Widhyahrini, K. and Hidayati, E.N. (2019) "Analysis and Characterization of Bioethanol from Banana (*Musa acuminata* Balbisiana) Peel Pulp by Yeast Enzymatic Production," *Jurnal Kartika Kimia*, 2(2). Available at: <https://doi.org/10.26874/jkk.v2i2.32>.