



Desain *Box Cooler* Pada Mesin Destilasi Alkohol Buah Duku Dengan Sistem Pendingin *Refrigerator*

Box Cooler Design on Duku Fruit Alcohol Distillation Machine with refrigerator cooling system

Ahmad Akromul Huda^{1*}, Muanah², Karyanik², Earlyna Sinthia Dewi²

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Indonesia

²Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Mataram, Indonesia

*Co-author: akromulh13@gmail.com

Article History:

Received : 07-06-2025
Revised : 25-06-2025
Accepted : 29-06-2025
Online : 30-06-2025

Keywords:

Distillation;
Box cooler;
Ethanol;
Cooling system;
Fermentation;

Kata Kunci:

Destilasi;
Box cooler;
Etanol;
Sistem pendingin;
Fermentasi;



Abstract: *This research aims to design and build an alcohol distillation machine made from duku fruit using a refrigerator cooling system and a box cooler as a condenser. The distillation machine utilizes a heating furnace to produce ethanol vapor from fermentation, which is then condensed in a cooled box cooler. Tests were conducted with variations in furnace temperature (110°C, 125°C, 140°C, and 155°C). The results show that the higher the heating temperature, the volume of distillate produced increases, from ±132 ml to ±330 ml. However, the ethanol content remained relatively low (10-20%) due to the low initial ethanol content of the fermentation and only one-stage distillation. These results show that the design of the device can function well on a laboratory scale, although further distillation is needed to increase the ethanol content. This research is expected to be the first step in developing a small-scale ethanol distillation device that is efficient and easy to implement.*

Abstrak:

Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun mesin destilasi alkohol berbahan baku buah duku dengan menggunakan sistem pendingin refrigerator dan *box cooler* sebagai kondensor. Mesin destilasi memanfaatkan tungku pemanas untuk menghasilkan uap etanol dari hasil fermentasi, yang kemudian dikondensasikan di dalam *box cooler* yang didinginkan. Pengujian dilakukan dengan variasi suhu tungku pemanas (110°C, 125°C, 140°C, dan 155°C). Hasil menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu pemanas, volume distilat yang dihasilkan meningkat, yaitu dari ±132 ml hingga ±330 ml. Namun, kadar etanol tetap relatif rendah (10–20%) karena kadar awal etanol hasil fermentasi yang rendah dan hanya dilakukan destilasi satu tahap. Hasil ini menunjukkan bahwa rancangan alat dapat berfungsi dengan baik pada skala laboratorium, meskipun diperlukan destilasi lanjutan untuk meningkatkan kadar etanol. Penelitian ini diharapkan menjadi langkah awal pengembangan alat destilasi etanol skala kecil yang efisien dan mudah diterapkan.



This is an open access article under the **CC-BY-SA** license

A. LATAR BELAKANG

Penggunaan bahan bakar minyak bumi yang tidak terbarukan terus meningkat setiap harinya di masyarakat. Minyak bumi telah digunakan sebagai bahan bakar untuk berbagai keperluan seperti pada rumah tangga, kendaraan dan industry. Masyarakat diseluruh dunia sudah bergantung pada penggunaan bahan bakar minyak bumi sehingga permintaan akan pasokan sumber energi ini

meningkat (EIA, 2021). Meningkatnya permintaan energi dapat disebabkan oleh beberapa factor seperti pertumbuhan populasi, peningkatan standar hidup, peningkatan jumlah kendaraan, dan penambahan jumlah industri. Faktor-faktor ini secara kolektif mengakibatkan peningkatan konsumsi energi (Energy Institute, 2024). Penggunaan minyak bumi yang sangat besar setiap harinya akan mengakibatkan cadangan minyak bumi akan semakin menipis karena bahan bakar ini merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui. Semakin menipisnya cadangan minyak ini juga akan mengakibatkan harga minyak bumi akan semakin meningkat (Arezki & Nysveen, 2021).

Cadangan minyak bumi yang menipis tentu saja akan mengharuskan adanya eksplorasi sumber bahan bakar alternatif yang terbarukan sebagai upaya mengurangi dan menghentikan ketergantungan manusia akan sumber energi minyak bumi (IEA, 2022). Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat konsumsi bahan bakar minyak bumi yang besar. Meningkatnya jumlah penduduk Indonesia juga berpengaruh terhadap peningkatan konsumsi bahan bakar minyak. Fenomena ini berbanding terbalik dengan menurunnya ketersediaan minyak bumi sebagai hasilnya akan berdampak pada munculnya krisis energi global (KESDM, 2022).

Krisis energi global yang disebabkan oleh ketergantungan terhadap bahan bakar fosil semakin mendorong pencarian sumber energi alternatif yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Dalam bidang energi terbarukan, etanol muncul sebagai kandidat utama, terutama dalam konteks biofuel etanol yang berasal dari biomassa (Zabed et al., 2017). Keunggulan etanol antara lain kandungan energinya yang tinggi, statusnya sebagai sumber daya terbarukan, dan emisi gas rumah kaca yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar fosil (IRENA, 2021).

Etanol (C_2H_5OH), atau etil alkohol, adalah senyawa organik yang termasuk dalam golongan alkohol primer. Senyawa ini berbentuk cair, tidak berwarna, mudah menguap, dan mudah terbakar. Etanol memiliki titik didih sekitar $78,37\text{ }^{\circ}C$ dan larut sempurna dalam air (Broda et al., 2022). Secara alami, etanol dapat diproduksi melalui proses fermentasi gula oleh mikroorganisme (umumnya *Saccharomyces cerevisiae*) atau secara sintetik dari etilena melalui proses hidrasi (Morrison & Boyd, 2011). Etanol memiliki berbagai macam aplikasi, termasuk penggunaannya sebagai pelarut, pembasmi kuman, minuman, zat anti pembekuan, bahan bakar dan senyawa sintesis, serta konstituen senyawa organik lainnya (Yefriadi et al., 2020). Dalam konteks energi, etanol dikenal luas sebagai *biofuel* yang ramah lingkungan. Etanol anhidrat (dengan kadar $>99\%$) dapat digunakan secara langsung sebagai bahan bakar, atau dicampurkan dengan bensin untuk menghasilkan *gasohol*, seperti E10 (10% etanol) atau E85 (85% etanol) (U.S. Department of Energy, 2024). Penggunaan etanol sebagai bahan bakar alternatif memberikan beberapa keuntungan signifikan seperti ramah lingkungan, terbarukan, memiliki sifat oktan yang tinggi, serta Biodegradabel dan lebih aman (Wijaya et al., 2012).

Etanol dapat diperoleh melalui dua metode utama, yaitu secara biologis melalui fermentasi biomassa dan secara kimia melalui hidrasi etilena. Metode fermentatif merupakan metode yang paling umum dan berkelanjutan karena menggunakan bahan baku alami yang dapat diperbarui (Salvi et al., 2021). Sumber bahan baku fermentasi etanol meliputi bahan berpati seperti jagung dan singkong, bahan bergula seperti tebu dan nira, serta lignoselulosa seperti jerami padi, tongkol jagung, dan limbah pertanian lainnya. Proses fermentasi umumnya dilakukan oleh mikroorganisme seperti *Saccharomyces cerevisiae* yang mengubah gula menjadi etanol dalam kondisi anaerob. Selain itu, etanol juga dapat dihasilkan dari limbah organik, yang tidak hanya mendukung produksi energi bersih tetapi juga membantu mengurangi limbah dan pencemaran lingkungan (Wagner & Gasch, 2023). Meskipun potensi etanol sebagai bahan bakar sangat besar, tantangan utama dalam penggunaannya adalah proses pemurnian (Ghaffar et al., 2019). Etanol hasil fermentasi biasanya hanya memiliki kadar sekitar 8–12%, sementara untuk digunakan sebagai bahan bakar, etanol harus dimurnikan

hingga kadar di atas 95% (Conde-Mejía & Jiménez-Gutiérrez, 2020). Proses pemurnian ini umumnya dilakukan melalui distilasi, yang memanfaatkan perbedaan titik didih antara etanol dan air. Namun, proses distilasi konvensional menghadapi keterbatasan karena terbentuknya azeotrop antara etanol dan air pada komposisi sekitar 95,63% etanol, sehingga diperlukan desain alat distilasi yang efisien dan inovatif (Kiss & Ignat, 2013).

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun mesin destilasi alkohol skala laboratorium berbahan baku buah duku, yang dilengkapi dengan *box cooler* berbahan tembaga sebagai kondensor serta menggunakan sistem pendingin refrigerator. Pemilihan tembaga didasarkan pada konduktivitas panasnya yang tinggi sehingga mampu mempercepat proses kondensasi uap etanol menjadi cairan distilat. Sementara itu, penerapan sistem pendingin refrigerator bertujuan untuk menjaga suhu pendinginan tetap stabil dan rendah, sehingga meningkatkan efisiensi perpindahan panas. Dengan desain ini, diharapkan dapat diperoleh alat destilasi yang lebih ringkas, efisien, dan sesuai diterapkan pada skala kecil maupun industri rumah tangga sebagai bagian dari pengembangan bioetanol sebagai energi terbarukan.

B. METODE PENELITIAN

1. Alat dan Bahan

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan di Lowok Waru, Kota Malang. Penelitian ini dilakukan dengan Metode eksperimental untuk merancang dan merancang dan membangun mesin destilasi alkohol berbahan baku buah duku, yang menggunakan sistem pendingin refrigerator. Mesin destilator yang dirancang dalam penelitian ini memanfaatkan tungku pemanas untuk memanaskan cairan hasil fermentasi buah duku hingga menghasilkan uap etanol. Uap yang terbentuk kemudian dialirkan ke dalam *box cooler*, yaitu kondensor berbentuk kotak yang berfungsi sebagai tempat pendinginan. Pendinginan pada *box cooler* ini diperoleh dari mesin pendingin (*refrigerator*) yang menyalurkan fluida dingin untuk menyerap panas uap etanol sehingga berubah kembali menjadi cairan. Untuk memantau proses ini, digunakan termometer digital untuk mengukur suhu di beberapa titik, serta bar meter untuk memantau tekanan uap dalam sistem destilasi, sehingga kinerja pemanasan dan pendinginan dapat dikendalikan dengan lebih baik. bahan penelitian adalah air untuk mengisi *box cooler* dan buah duku yang kemudian difermentasi.

2. Tahapan Penelitian

Tahap Perancangan

Proses penelitian diawali dengan kajian literatur yang komprehensif. Tahap ini bertujuan untuk memperoleh pemahaman mendalam mengenai prinsip kerja kondensor, proses destilasi, konsep perpindahan panas, serta referensi desain alat destilasi yang telah ada. Studi literatur juga menjadi landasan penting dalam menentukan metode perhitungan dimensi, kapasitas kondensor, serta spesifikasi teknis komponen yang diperlukan. Setelah kajian literatur, penelitian dilanjutkan ke tahap perancangan *box cooler*. Pada tahap ini, dilakukan serangkaian perhitungan teknis meliputi penentuan kapasitas *box cooler* sesuai kebutuhan produksi etanol dari buah duku, perhitungan dimensi seperti diameter, panjang, dan volume kondensor, serta estimasi jumlah uap etanol yang akan dikondensasikan.

Tahap Pembuatan

Tahap selanjutnya adalah pembuatan *box cooler* berdasarkan hasil rancangan yang telah disusun. Proses pembuatan meliputi pembuatan kondensor destilasi, pemasangan pipa evaporator mesin pendingin, perakitan pipa penghubung antar komponen destilator, serta pembuatan rangka penopang mesin. Tahap selanjutnya merakit setiap komponen menjadi satu kesatuan dalam bentuk

mesin destilasi alkohol dengan system pendingin *refrigerator*. Setelah mesin selesai dibuat maka selanjutnya dilakukan proses fermentasi buah duku dengan penambahan ragi untuk mempercepat prosesnya. Setelah dua minggu dilakukan uji coba pada mesin destilasi dengan bahan baku hasil fermentasi buah duku sebagai sampel.

Tahap Pengujian Mesin

Setelah kondensor selesai dibuat, dilakukan tahap pengujian untuk mengevaluasi kinerja mesin dalam proses destilasi. Tahap pengujian dilakukan setelah proses fermentasi buah duku selama ± 14 hari, yang menghasilkan cairan fermentasi mengandung etanol. Uji destilasi dilakukan dengan memanaskan ± 2 liter cairan fermentasi dalam tungku pemanas selama ± 120 menit (2 jam) dengan variasi suhu pemanas 110°C , 125°C , 140°C , dan 155°C . Proses destilasi diamati setiap interval 30 menit untuk mencatat volume distilat yang dihasilkan. Pengujian dilakukan dengan mengoperasikan alat destilasi dan mencatat volume cairan hasil kondensasi. Suhu uap dalam tungku pemanas, suhu cairan hasil kondensasi, dan suhu pendingin di dalam *box cooler* dipantau menggunakan termometer digital untuk memastikan kestabilan proses. Volume distilat diukur menggunakan gelas ukur bergradasi. Sedangkan untuk menentukan kadar etanol, digunakan metode uji alkoholmeter (hidrometer khusus untuk etanol) yang dirancang untuk mengukur persentase volume etanol dalam cairan hasil destilasi. Data volume distilat dan kadar etanol pada masing-masing suhu pemanas dicatat dan dianalisis untuk mengevaluasi pengaruh variasi suhu pemanas terhadap performa destilasi.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

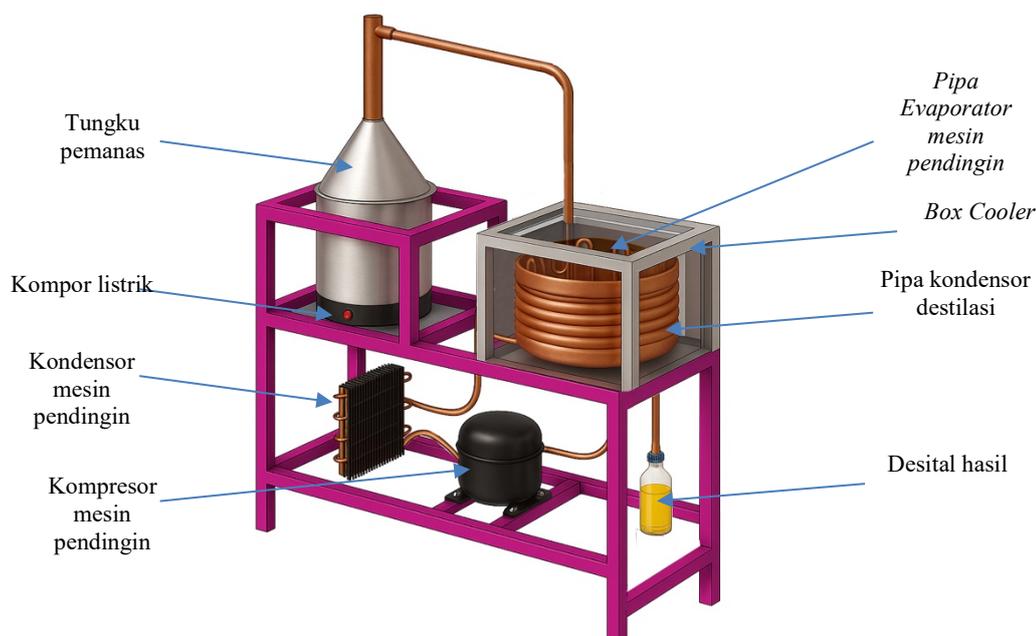
1. Hasil Perancangan Mesin Destilasi

Pada tahap awal, dilakukan kajian literatur untuk menentukan dimensi dan kapasitas *box cooler* (kondensor) sesuai dengan target produksi etanol hasil fermentasi buah duku. *Box cooler* dirancang berbentuk kotak dengan material utama tembaga karena memiliki konduktivitas panas tinggi dan ketahanan terhadap korosi. Kondensor dirancang untuk mampu mengkondensasikan uap etanol yang dihasilkan dari pemanasan $\pm 1-5$ liter masa fermentasi. Spesifikasi mesin hasil rancangan dapat dilihat pada **Table 1** dan gambar hasil rancangan pada **Gambar 1**.

Tabel 1. Spesifikasi utama hasil rancangan:

Komponen	Material	Dimensi / Spesifikasi
Box Cooler		
- Pipa evaporator (pipa vertikal)	Tembaga	3,3 meter
- Pipa Kondensor destilasi	Tembaga	4,2 meterr
- Plat Tembaga	Tembaga	P = 1 meter, L = 0,35 meter
- Pembungkus box cooler	Sterof foam	P= 0,4 meter, L=0,4 meter, T= 0,35 meter
Rangka Penopang		
-Besi Siku	Baja	P=1,2 meter, L=0,45 meter, T=1 meter
Mesin Pendingin		
-Kompresor	-	1/8 HP
-Kondensor	Tembaga	P=0,4 meter, L=0,35 m, tebal=0,05 meter
-Pipa kapiler	Tembaga	P=0,5 meter, OD \approx 0,031 inch (0,8 mm)
Tungku Pemanas	Almumunium	Kapasitas ± 5 liter
Pipa Tungku pemanas	Tembaga	P=0,6 meter 3/8 inch (\approx 9,52 mm)

Pipa saluran
destilat 



Gambar 1. Skema rancangan mesin destilasi

2. Hasil Pembuatan dan Perakitan

Berdasarkan desain tersebut, proses pembuatan dimulai dengan fabrikasi box cooler dan pipa pendingin. Kemudian dilakukan pemasangan pipa kondensor dan evaporator ke dalam box cooler agar t dapat terjadi transfer panas antara uap destilat dengan mesin pendingin, instalasi pipa penghubung dari tungku ke *box cooler* (kondensor), dan perakitan rangka penopang dari besi siku. Mesin pendingin refrigerator dimodifikasi bentuk evaporatornya agar dapat terjadi proses penukaran kalor dalam *box cooler* yang dapat mengembunkan uap destilat menjadi cair. Desain ini memungkinkan proses perpindahan panas yang optimal sehingga uap etanol lebih cepat terkondensasi. Hasil Perakitan box cooler dapat dilihat pada **Gambar 2**. Setelah semua direkatkan dengan cara di las perak kemudian dicor dengan styrofoam agar temperatur didalam box cooler dapat terjaga atau disebut dengan istilah *Box Cooler* seperti **Gambar 3**.



Gambar 2. Desain detail evaporator mesin pendingin dan pipa kondensor destilasi yang dimasukkan ke dalam box cooler



Gambar 3. Tampilan box cooler berbahan tembaga yang dilengkapi styrofoam sebagai isolator termal

Hasil perakitan mesin destilasi alcohol denmenunjukkan sistem dapat dirangkai secara kompak sehingga lebih hemat ruang dan mudah dioperasikan. Hasil perakita keseluruhan komponen dapat dilihat pada **Gambar 4.**



Gambar 4. Mesin Destilasi Alkohol

3. Hasil Pengujian Mesin Destilasi

Mesin destilasi berhasil dirancang dan dibuat menggunakan box cooler berbahan tembaga dengan sistem pendingin refrigerator. Hasil pengujian mesin destilasi sudah baik dimana mesin destilasi sudah bisa menghasilkan destilat selama proses pengujian. Proses pengujian dilakukan setelah fermentasi buah duku selama ± 14 hari, dilakukan pengujian destilasi. Untuk menguji mesin destilasi diambil sebanyak 2 liter cairan fermentasi buah duku dan dimasukkan kedalam tungku pemanas kemudian dipanaskan, uap akan dihasilkan tungku pemanas kemudian masuk ke box cooler, lalu dikondensasikan. *Box cooler* didinginkan oleh mesin pendingin dimana temperature *box cooler* dijaga pada 18°C . Untuk temperature tungku pemanas karena titik didih etanol adalah $78,37^{\circ}\text{C}$, dan biasanya destilasi dilakukan sedikit di atasnya, maka 80°C adalah suhu yang aman untuk menghasilkan etanol. Namun pada penelitian diberikan variasi temperature 110°C , 125°C , 140°C , dan

155⁰C untuk melihat kemampuan mesin destilasi menghasilkan destilat saat temperature tungku pemanas dinaikkan. Untuk mengukur volume hasil destilasi digunakan gelas ukur. Data yang didapatkan dan telah diolah ditunjukkan dalam **Tabel 2**.

Tabel 2. Data Hasil Pengujian temperature dan volume hasil destilasi

Waktu (menit)	Volume Hasil ml			
	Temperatur Tungku Pemanas ⁰ C			
	110 ⁰ C	125 ⁰ C	140 ⁰ C	155 ⁰ C
30	30	40	51	73
60	65	104	120	159
90	97	179	207	253
120	132	254	296	330

Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur beban pendinginan, volume cairan hasil destilasi yang diperoleh cenderung meningkat. Pada menit ke-120, volume distilat tertinggi sebesar 330 cc/h diperoleh pada temperatur pendinginan 155 °C, sedangkan volume terendah sebesar 132 cc/h diperoleh pada temperatur pendinginan 110 °C. Hal ini disebabkan oleh semakin tingginya temperatur beban pendinginan yang membuat perbedaan temperatur antara uap panas dan media pendingin menjadi lebih besar. Perbedaan temperatur ini meningkatkan laju perpindahan panas, sehingga uap etanol dapat lebih cepat mengalami kondensasi menjadi cairan distilat. Meskipun volume distilat meningkat, perlu diperhatikan bahwa semakin tinggi temperatur pendinginan dapat berpotensi menurunkan kadar etanol karena semakin banyak air yang ikut terkondensasi bersama uap etanol. Oleh karena itu, selain mempertimbangkan jumlah distilat, evaluasi terhadap kualitas (kadar etanol) juga penting (Hernández-Hernández et al., 2022). Hasil uji kadar etanol ditunjukkan **Tabel 3**.

Tabel 2. Data Hasil Pengujian kadar etanol hasil destilasi

	Temperatur Tungku Pemanas ⁰ C			
	110 ⁰ C	125 ⁰ C	140 ⁰ C	155 ⁰ C
Volume Destilasi (ml)	±132	±254	±296	±330
Kadar Alkohol (%)	10%	15%	17%	20%

Berdasarkan hasil uji destilasi dengan variasi temperatur tungku pemanas 110°C, 125°C, 140°C, dan 155°C, diperoleh kadar alkohol yang masih tergolong rendah, yaitu berkisar antara 10–20%. Pada suhu 110°C, kandungan alkohol hanya sekitar 10%, meningkat menjadi ±15% pada 125°C, kemudian ±17% pada 140°C, dan mencapai ±20% pada 155°C meskipun tetap tercampur cukup banyak uap air. Rendahnya kadar etanol ini disebabkan oleh kadar awal etanol hasil fermentasi buah duku yang memang relatif rendah, serta proses destilasi hanya dilakukan satu tahap (Zabed et al., 2017). Untuk memperoleh kadar etanol lebih tinggi hingga mendekati anhidrat (>95%), diperlukan tahap destilasi lanjutan atau penerapan teknologi pemurnian tambahan seperti destilasi ekstraktif atau membrane (Conde-Mejía & Jiménez-Gutiérrez, 2020).

D. SIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil merancang dan membangun mesin destilasi alkohol buah duku dengan sistem pendingin refrigerator yang dilengkapi *box cooler* berbahan tembaga. Hasil uji coba menunjukkan bahwa variasi temperatur tungku pemanas berpengaruh terhadap volume distilat dan kadar etanol yang dihasilkan. Volume destilat tertinggi sebesar ± 330 ml dicapai pada suhu pemanas 155°C , sedangkan volume terendah sebesar ± 132 ml pada suhu 110°C . Kadar alkohol yang diperoleh tergolong rendah, berkisar antara 10–20%, disebabkan oleh kadar awal etanol hasil fermentasi yang rendah serta proses destilasi hanya dilakukan satu tahap. Penelitian ini menunjukkan bahwa rancangan alat sudah dapat menghasilkan destilat etanol, meskipun untuk memperoleh kadar etanol yang lebih tinggi masih diperlukan proses destilasi lanjutan serta pengembangan desain kondensor yang lebih efisien.

DAFTAR RUJUKAN

- Arezki, R. ;, & Nysveen, P. M. (2021). The future of oil: Price super cycle and declining investments. *Finance & Development (IMF)*, June 2021. <https://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/2021/06/the-future-of-oil-arezki-and-nysveen.htm>
- Broda, M., Yelle, D. J., & Serwańska, K. (2022). Bioethanol Production from Lignocellulosic Biomass—Challenges and Solutions. In *Molecules*. <https://doi.org/10.3390/molecules27248717>
- Conde-Mejía, C., & Jiménez-Gutiérrez, A. (2020). Analysis of ethanol dehydration using membrane separation processes. *Open Life Sciences*. <https://doi.org/10.1515/biol-2020-0013>
- EIA, U. S. E. I. A. (2021). *International Energy Outlook 2021 – Primary energy consumption projection*. <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=49876>
- Energy Institute. (2024). *Statistical Review of World Energy 2024*. <https://www.energyinst.org/statistical-review>
- Ghaffar, T. ;, Irfan, M. ;, & Liu, Q. (2019). Progress in bioethanol distillation: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 102(23–39). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.008>
- Hernández-Hernández, E. de J., Cabrera-Ruiz, J., Hernández-Escoto, H., Gutiérrez-Antonio, C., & Hernández, S. (2022). Simulation study of the chemical of high purity ethanol using extractive distillation: Revisiting the use of inorganic salts. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2021.108670>
- IEA. (2022). *World Energy Outlook 2022*.
- IRENA. (2021). *World Energy Transitions Outlook 2021*.
- KESDM, R. I. (2022). *Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2022*. <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-handbook-of-energy-economic-statistics-of-indonesia-2022.pdf>
- Kiss, A. A., & Ignat, R. M. (2013). Optimal Economic Design of an Extractive Distillation Process for Bioethanol Dehydration. *Energy Technology*. <https://doi.org/10.1002/ente.201200053>
- Morrison, R. T. ;, & Boyd, R. N. (2011). *Organic Chemistry (7th ed.)*. Prentice Hall.
- Salvi, B. L., Soni, T., Jindal, S., & Panwar, N. L. (2021). Design improvement and experimental study on shell and tube condenser for bio-oil recovery from fast pyrolysis of wheat straw biomass. *SN Applied Sciences*. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04165-8>
- U.S. Department of Energy. (2024). *Ethanol blends*. Alternative Fuels Data Center. <https://afdc.energy.gov/fuels/ethanol-blends>
- Wagner, E. R., & Gasch, A. P. (2023). Advances in *S. cerevisiae* Engineering for Xylose Fermentation and Biofuel Production: Balancing Growth, Metabolism, and Defense. In *Journal of Fungi*. <https://doi.org/10.3390/jof9080786>
- Wijaya, I. M. A. S., Arthawan, I. gusti K. A., & Sari, A. N. (2012). Potensi Nira Kelapa Sebagai Bahan Baku Bioetanol. *Jurnal Bumi Lestari*.
- Yefriadi, Alfitri, N., Hidayat, A., Efendi, Nasrul, & Maulana, Y. P. (2020). Bioethanol Producing Equipment Prototype Using Cassava Peel Using Microcontroller-Based Distillation Principles. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/846/1/012037>
- Zabed, H., Sahu, J. N., Suely, A., Boyce, A. N., & Faruq, G. (2017). Bioethanol production from renewable sources: Current perspectives and technological progress. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.076>