

Uji Kinerja Alat Konverter Air Kelapa Menjadi Bioetanol

Charolina Rehulina Depari, Muhammad Yerizam*, Yuniar

Jurusan Teknik Kimia, Program Studi Teknologi Kimia Industri, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang

*Koresponden email: yerizam@polsri.ac.id

Diterima: 3 September 2025

Disetujui: 11 September 2025

Abstract

The global energy crisis caused by dependence on fossil fuels has encouraged the use of biomass as a renewable energy source. Coconut water, abundant as agro-industrial waste in Indonesia, has strong potential to be converted into bioethanol. This study aims to design and evaluate a conversion device that processes coconut water into bioethanol through fermentation and distillation. The device consists of a 5.5 L fermentor, a 5 L distillation unit, and a copper-based condenser. Fermentation using *Saccharomyces cerevisiae* was carried out for 72 hours at $\pm 30^{\circ}\text{C}$, followed by a two-stage distillation at $78\text{--}80^{\circ}\text{C}$. From 4.9 L of coconut water, 250 mL of distillate was obtained with an ethanol concentration of 57% v/v, confirmed by Gas Chromatography analysis. Mass balance indicated that 171.5 g of glucose produced 112.5 g of ethanol, with a fermentation efficiency of 128.3%. The system's thermal efficiency reached 67.77%, while distillation and condenser efficiencies exceeded 95% and 97%, respectively. Although ethanol concentration has not yet met SNI 7390:2012 standards ($\geq 94\%$ v/v), the device shows strong potential as a renewable energy solution at the laboratory scale and for small-scale industry applications.

Keywords: *bioethanol, coconut water, fermentation, distillation, renewable energy*

Abstrak

Krisis energi akibat ketergantungan pada bahan bakar fosil mendorong pemanfaatan biomassa sebagai energi terbarukan. Air kelapa, yang melimpah sebagai limbah agroindustri di Indonesia, berpotensi dikonversi menjadi bioetanol. Penelitian ini bertujuan merancang serta mengevaluasi kinerja alat konversi air kelapa menjadi bioetanol melalui proses fermentasi dan distilasi. Alat terdiri dari fermentor berkapasitas 5,5 L, distilasi 5 L, dan kondensor berbahan tembaga. Fermentasi menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* dilakukan selama 72 jam pada suhu $\pm 30^{\circ}\text{C}$, kemudian dilanjutkan distilasi dua tahap pada $78\text{--}80^{\circ}\text{C}$. Dari 4,9 L air kelapa diperoleh 250 mL distilat dengan kadar etanol 57% v/v berdasarkan uji Gas Chromatography. Neraca massa menunjukkan konversi 171,5 g glukosa menjadi 112,5 g etanol, dengan efisiensi fermentasi 128,3%. Efisiensi termal sistem mencapai 67,77%, sedangkan efisiensi distilasi dan kondensor masing-masing $>95\%$ dan $>97\%$. Walaupun kadar etanol belum memenuhi standar SNI 7390:2012 ($\geq 94\%$ v/v), hasil ini menunjukkan potensi pengembangan alat sebagai solusi energi terbarukan skala laboratorium dan industri kecil.

Kata Kunci: *bioetanol, air kelapa, fermentasi, distilasi, energi terbarukan*

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi global yang masih bergantung pada bahan bakar fosil telah memicu krisis energi serta menimbulkan permasalahan lingkungan. Salah satu alternatif yang berpotensi dikembangkan adalah bioetanol, yang diperoleh melalui proses fermentasi biomassa [1]. Bioetanol dikenal ramah lingkungan, mudah terurai, serta dapat dihasilkan dari berbagai limbah agroindustri, termasuk air kelapa [2].

Indonesia sebagai produsen kelapa terbesar kedua di dunia menghasilkan limbah air kelapa dalam jumlah besar setiap tahun. Limbah ini sering terbuang percuma dan menimbulkan pencemaran, padahal kandungan gulanya dapat dimanfaatkan sebagai substrat fermentasi [3]. Di Sumatera Selatan, limbah air kelapa berpotensi mencapai lebih dari 12 juta liter per tahun. Dengan pemanfaatan yang tepat, limbah tersebut dapat dikonversi menjadi energi terbarukan yang bernilai ekonomis [4].

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa fermentasi dengan *Saccharomyces cerevisiae* mampu menghasilkan kadar etanol tinggi [5] dan distilasi sederhana dapat memurnikannya hingga mencapai kualitas bahan bakar [6], [7]. Namun, penelitian sebelumnya masih terbatas pada satu tahapan proses, seperti fermentasi atau sistem pendinginan, sehingga belum menghadirkan rancangan alat yang terintegrasi. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk merancang dan membangun alat konverter air kelapa menjadi bahan bakar cair melalui sistem terintegrasi fermentasi, distilasi, dan kondensasi.

Penelitian ini memiliki signifikansi penting karena dapat memberikan solusi pemanfaatan limbah agroindustri sekaligus mendukung kemandirian energi nasional. Dari sisi lingkungan, teknologi ini mampu mengurangi pencemaran akibat pembuangan limbah air kelapa. Dari sisi ekonomi, bioetanol yang dihasilkan berpotensi menjadi bahan bakar alternatif yang kompetitif dan dapat diaplikasikan pada skala rumah tangga maupun industri kecil. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menjawab kebutuhan akan energi terbarukan tetapi juga berkontribusi terhadap pengembangan teknologi ramah lingkungan di Indonesia.

2. Metode dan Bahan Baku

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia Industri Politeknik Negeri Sriwijaya pada Maret–Juli 2025. Alat yang digunakan terdiri atas fermentor berkapasitas 5,5 liter, unit distilasi 5 liter, kondensor *stainless steel*, tangki pendingin, pompa *coolant*, serta panel kontrol suhu [8].

Bahan dan Alat

Bahan utama berupa air kelapa segar, sedangkan ragi *Saccharomyces cerevisiae* digunakan sebagai inokulum fermentasi [8]. Air kelapa terlebih dahulu disaring menggunakan kain saring 60 mesh untuk menghilangkan kotoran, kemudian dianalisis kadar gulanya menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Proses fermentasi dilakukan dengan mencampurkan air kelapa dan variasi massa ragi (3–10 g) dalam fermentor tertutup pada suhu ruang (25–30 °C) selama 3–7 hari. Keberhasilan fermentasi diamati melalui terbentuknya gelembung CO₂ pada *airlock* [5].

Larutan hasil fermentasi kemudian dipindahkan ke unit distilasi dan dipanaskan pada suhu 78–80 °C. Uap etanol yang terbentuk dialirkan menuju kondensor untuk menghasilkan distilat bioetanol. Produk yang diperoleh dianalisis dengan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) untuk menentukan kadar etanol, piknometer untuk mengukur densitas, serta uji kadar air untuk menilai mutu bioetanol [9], [7].

Tabel 1. Alat yang Digunakan

No.	Komponen	Jumlah
1.	Tangki Fermentasi	1 Unit
2.	Distilasi	1 Unit
3.	Kondensor	1 Unit
4.	Termokopel	1 Unit
5.	Heater	1 Unit
6.	Pompa Air	1 Unit
7.	Tangki Penampung	1 Unit
8.	<i>Airlock Fermentor</i>	1 Buah
9.	Erlenmeyer	1 Buah
10.	<i>Valve</i>	3 Buah
11.	<i>Control Panel Box</i>	1 Unit

Sumber : Laboratorium Politeknik Negeri Sriwijaya, (2025)

Pendekatan desain struktural menjelaskan struktur secara detail dari suatu alat, baik dari material, ukuran maupun proses pembuatannya yang dapat diamati pada **Gambar 1** berikut.



Gambar 1. Alat Konverter (2025)

Prosedur Penelitian

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah satu unit fermentor anaerob berkapasitas 5,5 liter yang dilengkapi dengan airlock untuk menjaga kondisi tanpa oksigen selama fermentasi. Fermentor ini dirancang dengan sistem tertutup agar aktivitas mikroba berlangsung optimal dan kontaminasi dapat dicegah [8]. Selanjutnya, digunakan unit distilasi berkapasitas 5 liter yang terdiri atas boiler, kolom distilasi, dan pengontrol suhu untuk menjaga kondisi operasi pada titik didih etanol 78–80 °C. Untuk proses pendinginan, dipakai kondensor spiral berbahan stainless steel yang terhubung dengan tangki pendingin dan pompa sirkulasi sehingga uap etanol dapat terkondensasi dengan cepat menjadi distilat [6].

Sistem alat ini dirancang secara terintegrasi sehingga hasil fermentasi dari fermentor dapat langsung dimasukkan ke unit distilasi, kemudian uap yang dihasilkan didinginkan melalui kondensor. Desain ini memungkinkan efisiensi proses lebih tinggi dibandingkan sistem terpisah, sekaligus memudahkan pengoperasian skala laboratorium.

Air kelapa segar yang diperoleh dari pasar lokal terlebih dahulu disaring menggunakan kain saring 60 mesh untuk menghilangkan kotoran dan serat. Larutan kemudian dianalisis kadar gulanya dengan spektrofotometer UV-Vis guna mengetahui potensi substrat fermentasi. Setelah itu, air kelapa dimasukkan ke dalam fermentor berkapasitas 5,5 liter, lalu ditambahkan ragi *Saccharomyces cerevisiae* dengan variasi massa 3 g, 5 g, 7 g, dan 10 g. Fermentasi dilakukan secara anaerob pada suhu ruang (25–30 °C) selama 3, 5, dan 7 hari. Aktivitas fermentasi dipantau melalui terbentuknya gelembung CO₂ pada *airlock*.

Cairan hasil fermentasi kemudian dipindahkan ke unit distilasi berkapasitas 5 liter. Proses pemanasan dilakukan pada suhu 78–80 °C sehingga etanol menguap, sementara komponen lain tertinggal dalam boiler. Uap etanol dialirkan menuju kondensor berbahan stainless steel yang dialiri air pendingin, sehingga diperoleh distilat berupa bioetanol. Bioetanol hasil distilasi selanjutnya dianalisis untuk mengetahui kualitasnya. Kadar etanol ditentukan menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS), densitas diukur dengan piknometer, sedangkan kadar air diuji untuk menilai kemurnian produk. Data hasil pengujian digunakan untuk mengevaluasi kinerja fermentor, efisiensi distilasi, serta efektivitas kondensor dalam menghasilkan bioetanol.

3. Hasil dan Pembahasan

Kinerja Fermentor

Fermentasi air kelapa dengan *Saccharomyces cerevisiae* menunjukkan adanya penurunan kadar gula dan peningkatan kadar etanol seiring dengan waktu fermentasi. Variasi massa ragi berpengaruh terhadap laju pembentukan etanol. Pada massa ragi optimum (5–7 g) dengan waktu fermentasi 5 hari diperoleh kadar etanol tertinggi, sedangkan pada massa ragi terlalu tinggi (10 g) efisiensi menurun karena efek inhibisi sel khamir.

Tabel 2. Hasil Fermentasi Bioetanol pada Variasi Massa Ragi dan Waktu Fermentasi

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Volume air kelapa	4,9	Liter
2	Massa jenis air kelapa	1,02	g/ml
3	Total massa air kelapa	4.998	Gram
4	Glukosa terlarut (hasil UV-Vis)	171,5	Gram
5	Ragi <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	5	Gram

Sumber : Laboratorium Politeknik Negeri Sriwijaya, (2025)

Penelitian ini menekankan bahwa nilai efisiensi yang lebih tinggi dapat dicapai apabila kondisi fermentasi dikendalikan secara optimal, termasuk pengaturan suhu, pH, serta konsentrasi ragi yang digunakan. Faktor-faktor ini berperan penting dalam memastikan bahwa ragi memiliki aktivitas yang maksimal dan mampu mengonversi gula dalam bahan baku (seperti air kelapa) menjadi etanol dengan efisiensi yang tinggi. Gas karbon dioksida yang terlepas selama proses fermentasi, serta potensi kegagalan mikroorganisme dalam kondisi fermentasi yang kurang ideal. Oleh karena itu, efisiensi fermentasi yang mendekati 80% dianggap optimal untuk kondisi laboratorium, di mana pengontrolan proses fermentasi mungkin masih memiliki variasi dalam hal kestabilan dan efektivitas. Efisiensi fermentor sebesar 80% yang mencerminkan konversi gula menjadi etanol yang efisien meskipun ada beberapa faktor pengurangan efisiensi, seperti pembentukan gas CO₂ yang tidak dapat dimanfaatkan dan kemungkinan sedikit kehilangan energi dalam sistem. Efisiensi 80% ini juga menunjukkan bahwa proses fermentasi bekerja dengan cukup

baik dalam mengoptimalkan penggunaan substrat gula yang tersedia, namun tetap menyisakan beberapa kerugian yang memang tidak dapat dihindari dalam setiap proses bioteknologi.

Kinerja Distilasi

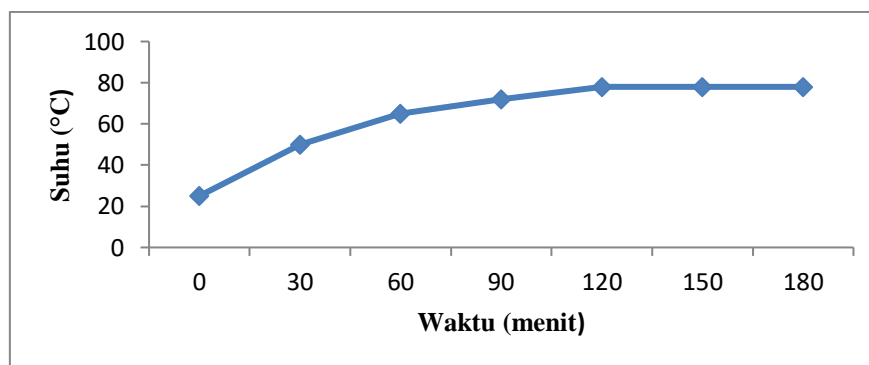
Hasil fermentasi didistilasi pada suhu 78–80 °C. Proses distilasi mampu meningkatkan kemurnian etanol hingga 75–80% v/v dengan *recovery* berkisar 70–78%. Stabilitas suhu sangat menentukan kualitas distilat [10].

Tabel 3. Kinerja Distilasi

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Waktu Distilasi	3	Jam
2	Daya Pemanas	150	Watt
3	Suhu Distilasi	78 – 80	°C
4	Volume Distilat Pertama	±300	ml
5	Kadar Etanol Pertama	30%	v/v
6	Kadar Etanol Distilat Kedua	57%	v/v
7	Volume akhir distilat (hasil GC)	250	ml
8	Etanol Hasil	142,5	ml

Sumber : Laboratorium Politeknik Negeri Sriwijaya, (2025)

Efisiensi distilasi ini dihitung berdasarkan perbandingan antara jumlah etanol yang terpisah dan jumlah total etanol yang tersedia. Peningkatan kemurnian dari 30% menjadi 57% menunjukkan bahwa proses distilasi berjalan optimal, dengan hampir seluruh etanol berhasil dipisahkan dari campuran air dan komponen lainnya. Proses distilasi ini dapat diperkirakan memiliki efisiensi lebih dari 95%, yang mencerminkan bahwa alat distilasi bekerja dengan sangat baik dalam meminimalkan kehilangan etanol selama pemisahan. Penurunan kehilangan etanol dan peningkatan kemurnian yang signifikan menunjukkan bahwa kondensor berfungsi dengan baik dalam mengembunkan uap etanol secara efisien. Suhu yang terkontrol dan penggunaan kondensor yang optimal memungkinkan distilasi yang lebih efisien, di mana sebagian besar etanol dapat dipulihkan tanpa banyak kehilangan. Hal ini mencerminkan desain yang cermat pada sistem distilasi, baik dalam kontrol suhu maupun dalam pemilihan material kondensor yang mendukung proses pemisahan yang lebih baik.



Gambar 2. Grafik Suhu Vs Waktu

Grafik Suhu vs Waktu yang menunjukkan perubahan suhu selama proses distilasi selama 3 jam memberikan wawasan yang sangat penting mengenai karakteristik pemisahan etanol dalam sistem distilasi. Proses distilasi ini terdiri dari dua tahap utama: pemanasan awal hingga titik didih etanol (~78°C) dan distilasi stabil di mana suhu dipertahankan pada titik didih untuk memisahkan etanol.

Pada tahap pemanasan (waktu 0–120 menit), suhu meningkat secara bertahap dari suhu awal 25°C (suhu kamar) menuju 78°C, titik didih etanol. Pada tahap ini, energi panas digunakan untuk memanaskan larutan fermentasi dan menguapkan etanol serta komponen lainnya. Pemanasan dilakukan dengan kontrol suhu yang hati-hati, karena pemanasan yang terlalu cepat bisa menyebabkan kehilangan etanol atau kerusakan pada produk.

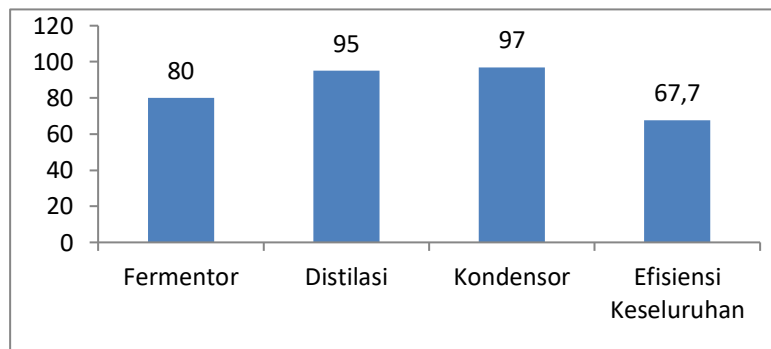
Setelah suhu mencapai 78 °C, tahap distilasi berlangsung di antara 120 hingga 180 menit, di mana suhu stabil pada titik didih etanol. Stabilitas suhu ini menunjukkan bahwa distilasi dilakukan dengan efisien, di mana etanol terpisah dan dikondensasikan menjadi cairan, sementara komponen lainnya tetap berada di dalam larutan. Keberhasilan distilasi ini menegaskan bahwa kontrol suhu yang konsisten sangat penting untuk memastikan pemisahan yang optimal, sesuai dengan prinsip yang dikemukakan oleh Shuler & Kargi

[9], yang menyatakan bahwa distilasi yang dilakukan dengan pengaturan suhu yang hati-hati akan meningkatkan hasil etanol yang murni. Alat distilasi yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan pengendalian suhu yang optimal, menjaga agar suhu tetap stabil pada 78 °C selama distilasi. Hasil ini juga sejalan dengan McCabe et al. [10] dalam *Unit Operations of Chemical Engineering*, yang menjelaskan bahwa selama distilasi penting untuk mempertahankan suhu stabil untuk memastikan pemisahan yang efisien dan menghindari kehilangan senyawa volatil lain selain etanol.

Kinerja Kondensor

Kondensor spiral *stainless steel* yang digunakan mampu mengubah uap etanol menjadi distilat dengan suhu akhir 27–29 °C pada debit pendingin 2 L/menit. Debit pendingin berpengaruh terhadap kapasitas pendinginan dan efektivitas kondensasi. Kondensor dalam sistem distilasi ini berperan penting dalam mengubah uap etanol menjadi etanol cair. Efisiensi lebih dari 97%, ini berarti bahwa hampir seluruh uap etanol yang dihasilkan terkondensasi kembali menjadi cairan, menunjukkan bahwa desain kondensor berfungsi dengan sangat baik dalam mengurangi kehilangan uap dan memaksimalkan pengembunan [11], [12].

Efisiensi yang tinggi ini dapat dijelaskan oleh isolasi termal yang efektif dan kontrol suhu yang tepat. Suhu yang terjaga dalam kondensor memungkinkan uap etanol untuk mengembun tanpa banyak kehilangan energi, meminimalkan pemborosan panas dan mengoptimalkan pemulihan etanol. Kondensor dirancang untuk memastikan bahwa sebagian besar energi termal digunakan secara efektif untuk mengembunkan etanol, dengan kehilangan energi yang sangat kecil [13].



Gambar 3. Grafik Efisiensi Alat Keseluruhan

Grafik ini menggambarkan perbandingan efisiensi antara komponen-komponen utama dalam proses konversi air kelapa menjadi bioetanol. Setiap komponen dalam sistem memiliki tingkat efisiensi yang berbeda, yang mempengaruhi efisiensi keseluruhan proses.

Pada Fermentor, efisiensi yang dicapai adalah 80%, yang menunjukkan bahwa fermentor berhasil mengonversi 80% dari gula yang ada dalam air kelapa menjadi etanol. Proses ini menggunakan ragi *Saccharomyces cerevisiae* dalam kondisi anaerob untuk mengubah gula menjadi etanol, meskipun efisiensinya masih ada ruang untuk peningkatan [14]. Selanjutnya, Distilasi memiliki efisiensi yang sangat tinggi, yaitu 95%. Distilasi bekerja memisahkan etanol dari campuran hasil fermentasi dengan memanfaatkan perbedaan titik didih antara etanol (78,37°C) dan air (100°C). Efisiensi yang tinggi menunjukkan bahwa hampir seluruh etanol dapat dipisahkan dari campuran dengan sedikit kehilangan [15].

Kondensor memiliki efisiensi 97%, yang menunjukkan kemampuannya dalam mendinginkan uap etanol yang dihasilkan selama distilasi. Kondensor ini sangat penting dalam memastikan bahwa uap etanol yang terkondensasi menjadi cairan etanol secara efektif. Namun, meskipun setiap komponen sistem memiliki efisiensi yang sangat baik, efisiensi keseluruhan dari sistem ini hanya mencapai 67,7%. Hal ini mengindikasikan adanya kerugian dalam proses, terutama pada tahap fermentasi, yang masih memiliki potensi untuk diperbaiki guna meningkatkan efisiensi konversi gula menjadi etanol.

Secara keseluruhan, meskipun distilasi dan kondensor menunjukkan efisiensi yang tinggi, efisiensi keseluruhan tetap dipengaruhi oleh proses fermentasi. Potensi peningkatan efisiensi ada terutama pada tahap fermentasi untuk memperoleh hasil yang baik.

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan alat konversi air kelapa menjadi bioetanol yang terdiri dari unit fermentasi dan distilasi sederhana. Fermentasi dengan *Saccharomyces cerevisiae* selama 3 hari pada suhu 30–32 °C mampu menghasilkan etanol yang kemudian dipisahkan melalui distilasi. Distilasi tahap kedua menghasilkan 300 mL bioetanol dengan kadar 57% v/v, berwarna jernih dan bebas kontaminasi. Evaluasi energi menunjukkan efisiensi termal sebesar 67,77% dari total input 1620 kJ, yang cukup baik untuk skala laboratorium tanpa insulasi.

Pengembangan selanjutnya disarankan menambahkan sistem insulasi termal dan pengatur suhu otomatis untuk meningkatkan efisiensi energi. Selain itu, proses pemurnian lanjutan seperti distilasi azeotropik atau dehidrasi dengan zeolit diperlukan agar kadar etanol mencapai standar fuel-grade ($\geq 95\%$ v/v), disertai uji performa langsung pada mesin berbahan bakar campuran.

5. Singkatan

v/v	: Volume per Volume
rpm	: Revolutions per Minute
LPM	: Liter per Minute (Debit alir)
Q	: Kapasitas pendinginan (<i>Cooling Capacity</i>)
T	: Temperatur (Suhu)

6. Referensi

- [1] Abidin, Asroful, et al. "Pengaruh Bentuk dan Diameter Kawat Kondensor terhadap Kadar dan Volume Etanol." *Al Jazari: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* 9.2 (2024).
- [2] Wulandari, R. R. A., and B. Utami. "Pembuatan Bioetanol dari Kelapa Tua Menggunakan Proses Fermentasi." *Prosiding Seminar Nasional Kimia*. 2015.
- [3] N. Azizah, A. Al-bAARI, dan S. Mulyani, "Pengaruh Lama Fermentasi Terhadap Kadar Alkohol, pH, dan Produksi Gas pada Proses Fermentasi Bioetanol dari Whey dengan Substitusi Kulit Nanas," *J. Apl. Teknol. Pangan*, vol. 1, no. 2, hal. 72–77, 2012.
- [4] B. P. S. (BPS), "Produksi kelapa menurut provinsi, 2022," 2023, *Badan Pusat Statistik, Jakarta*. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTMyIzI%3D/produksi-perkebunan-rakyat-menurut-jenis-tanaman.html>
- [5] SNI, "Bioetanol terdenaturasi untuk gasohol," hal. 24, 2012, [Daring]. Tersedia pada: https://www.scribd.com/document/418630429/1-SNI-7390-2012-Bioetanol-terdenaturasi-untuk-gasohol-pdf?utm_
- [6] Smith, Cecil L. *Distillation control: An engineering perspective*. John Wiley & Sons, 2012.
- [7] F. N. Tubiello, M. Salvatore, S. Rossi, A. Ferrara, N. Fitton, dan P. Smith, "The FAOSTAT database of greenhouse gas emissions from agriculture," vol. 8, 2013, doi: 10.1088/1748-9326/8/1/015009.
- [8] R. J. Fessenden and J. S. Fessenden, *Organic Chemistry*, 2nd ed. Boston: Willard Grant Press, 1982.
- [9] Ardiani, Salsha, Muhammad Yerizam, and Selastia Yuliaty. "Produksi Bioetanol Berbahan Ampas Tebu Dan Sabut Kelapa Dengan Proses Fermentasi-Distilasi." *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan* 10.7 (2024): 962-971.
- [10] W. L. McCabe, J. C. Smith, dan P. Harriott, *Unit Operations of Chemical Engineering*. McGraw-Hill, 2005.
- [11] N. A. Uwar and E. R. Soselissa, "Pengaruh penggunaan air pendingin kondensor terhadap hasil destilasi sampah plastik kapasitas 3 kg," *Armatur: Artikel Teknik Mesin Manufaktur*, vol. 3, no. 1, pp. 11–18, 2022, doi: 10.24127/armatur.v3i1.1926.
- [12] A. H. Ikhwanudin, M. P. Narendro, and N. Widadi, "Optimalisasi kondensor dan otomasi kontrol mesin distilator sederhana laboratorium teknologi rekayasa pangan," *Jurnal Pengembangan Potensi Laboratorium*, vol. 1, no. 1, pp. 1–13, 2022, doi: 10.25047/plp.v1i1.2984.
- [13] R. Winarso, B. S. Nugraha, and T. Santoso, "Pengembangan alat destilator bioetanol model refluks bertingkat dengan bahan baku singkong," *Jurnal Simetris*, vol. 5, no. 2, pp. 97–104, 2014, doi: 10.24176/simet.v5i2.214.
- [14] M. I. Rahmansyah, "Rancang bangun fermentor kapasitas 2 liter," *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia*, vol. 3, no. 9, pp. 385–389, Sep. 2023, doi: 10.52436/1.jpti.325.
- [15] Irvan, B. Trisakti, L. Adriani, and R. Revitasari, "Rancangan alat pembuatan bioetanol dari bahan baku kulit durian," *Jurnal Teknik Kimia USU*, vol. 4, no. 1, pp. 53–59, Mar. 2015, doi: 10.32734/jtk.v4i1.1461.53–59, 2015, doi: 10.32734/jtk.v4i1.1461.