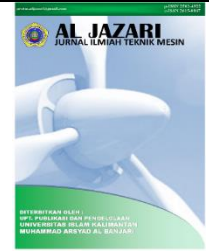




# Al Jazari

## Jurnal Ilmiah Teknik Mesin

Journal homepage:  
<https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/JZR/index>  
 p-ISSN 2502-4922, e-ISSN 2615-0867



## Pengaruh Bentuk dan Diameter Kawat Kondensator terhadap Kadar dan Volume Etanol

Asroful Abidin<sup>a\*</sup>, Nurhalim<sup>b</sup>, Muhammad Zainur Ridlo<sup>c</sup>, Dani Hari Tunggal Prasetyo<sup>d</sup>, Anggrik Adi Marzuki Putra<sup>e</sup>

<sup>a,b,c,e</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Jember

<sup>d</sup>Program Studi Perancangan Mekanik, Universitas Jember

<sup>a</sup>asrofulabidin@unmuhjember.ac.id, <sup>b</sup>nurhalim@unmuhjember.ac.id, <sup>c</sup>muhammadzainurridho@unmuhjember.ac.id,

<sup>d</sup>dani.hari@unej.ac.id, <sup>e</sup>aggrikadi@unmuhjember.ac.id

### Info Artikel

Riwayat Artikel:

Diterima: 10 Mei 2024

Diterima dalam bentuk revisi: 9 September 2024

Diteima/publis: 5 Nopember 2024

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi diameter kawat kondensator terhadap hasil distilasi etanol berbasis biomassa. Kondensator dengan diameter 1/4 inci, 3/4 inci, dan 5/16 inci diuji untuk mengevaluasi efisiensi distilasi dalam menghasilkan etanol dengan kemurnian dan volume yang optimal. Proses distilasi dilakukan selama tiga jam dengan pengukuran volume dan kadar etanol setiap jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada jam pertama, kondensator 1/4 inci dan 5/16 inci menghasilkan etanol sebanyak 550 ml dengan kadar 90%, sementara kondensator 3/4 inci menghasilkan 390 ml dengan kadar yang sama. Pada jam ketiga, kadar etanol pada kondensator 1/4 inci turun menjadi 0%, sedangkan kondensator 3/4 inci mempertahankan kadar etanol sebesar 65% dengan volume distilat 170 ml. Kondensator 5/16 inci menghasilkan volume tertinggi (390 ml) namun dengan kadar etanol hanya 10%. Hasil ini menunjukkan bahwa diameter kawat kondensator mempengaruhi efisiensi distilasi, di mana kondensator berdiameter 5/16 inci memberikan keseimbangan terbaik antara volume dan kemurnian etanol yang dihasilkan. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan teknologi distilasi bioetanol yang lebih efisien dan mendukung kebijakan energi terbarukan di Indonesia.

### Kata Kunci

bioetanol; distilasi; kondensator; diameter kawat; biomassa

### Abstract

*This study aims to analyze condenser wire diameter variations' effect on biomass ethanol distillation yield. Condensers with diameters of 1/4 in, 3/4 in, and 5/16 in were tested to evaluate distillation efficiency in producing ethanol with optimal purity and volume. The distillation was conducted for three hours, with ethanol volume and concentration measured every hour. The results showed that in the first hour, the 1/4 in and 5/16 in condensers produced 550 ml of ethanol with a concentration of 90%, while the 3/4 in condenser produced 390 ml at the same concentration. By the third hour, the ethanol concentration for the 1/4 in condenser dropped to 0%, while the 3/4 in condenser maintained an ethanol concentration of 65% with a distillate volume of 170 ml. The 5/16 in condenser yielded the highest volume (390 ml) but with only 10% ethanol concentration. These results indicate that the condenser wire diameter affects distillation efficiency, with the 5/16 in condenser providing the best balance between ethanol volume and purity. This study contributes to developing more efficient bioethanol distillation technology and supports renewable energy policies in Indonesia.*

<http://dx.doi.org/10.31602/al-jazari.v9i2.14728>



@UNISKA 2024. Diterbitkan oleh UPT Publikasi dan Pengelolaan Jurnal

Jurnal Al Jazari is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara agraris dengan potensi biomassa yang sangat besar, yang dihasilkan dari sektor

pertanian, perkebunan, dan kehutanan. Biomassa merupakan limbah organik yang berasal dari sisa-sisa kayu, daun, batang, dan buah dari tanaman yang banyak tersedia di berbagai daerah. Pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi terbarukan telah menjadi salah satu topik utama dalam penelitian energi, terutama dalam menghadapi tantangan global terhadap penurunan cadangan bahan bakar fosil dan meningkatnya permintaan energi (Bioenergi, 2016). Salah satu cara yang semakin diminati untuk memanfaatkan biomassa adalah dengan mengonversinya menjadi bioetanol, yaitu bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dan dapat digunakan sebagai substitusi bahan bakar fosil dalam berbagai aplikasi industri dan transportasi.

Bioetanol telah lama diakui sebagai salah satu solusi energi terbarukan yang potensial. Generasi pertama bioetanol dihasilkan dari bahan pangan seperti singkong, jagung, dan tebu melalui proses fermentasi. Namun, penggunaan bahan pangan ini menimbulkan kekhawatiran terhadap krisis pangan global, yang mendorong para peneliti untuk mencari alternatif sumber bahan baku (Komariah et al., 2009). Pada akhirnya, muncul bioetanol generasi kedua dan ketiga, yang menggunakan limbah biomassa sebagai bahan baku utama. Dengan demikian, penggunaan biomassa sebagai sumber bahan baku tidak hanya menawarkan solusi untuk masalah energi, tetapi juga menjadi solusi dalam pengelolaan limbah yang efektif (Halder et al., 2018; Jain & Kumar, 2024; Qiao & Lü, 2021).

Proses produksi bioetanol melibatkan beberapa tahapan, salah satunya adalah proses distilasi. Distilasi adalah tahap pemurnian etanol yang penting untuk mencapai kadar alkohol yang tinggi. Proses ini berfungsi untuk memisahkan campuran air dan alkohol dengan cara penguapan dan kondensasi. Dalam distilasi, kondensor memiliki peran penting untuk mengubah uap etanol kembali menjadi cairan dengan cara pendinginan (Herlina & Dewi Harahap, 2018; Sivakrishnan et al., 2019). Kondensor berfungsi untuk meningkatkan efisiensi distilasi dan kualitas etanol yang dihasilkan. Desain kondensor yang tepat, termasuk material dan dimensi, seperti diameter kawat kondensor, sangat memengaruhi laju perpindahan panas dan hasil akhir dari proses distilasi (Susmiati et al., 2022).

Meskipun teknologi distilasi telah berkembang, penelitian mengenai pengaruh variasi diameter kawat kondensor terhadap hasil distilasi etanol masih terbatas. Umumnya, peningkatan efisiensi distilasi bergantung pada seberapa baik kondensor dapat mendinginkan uap etanol menjadi cairan, serta menjaga suhu pada titik kritis yang diperlukan. Kondensor dengan diameter kawat yang lebih besar atau lebih kecil dapat memengaruhi kecepatan pendinginan, volume etanol yang dihasilkan, dan kualitas kemurnian etanol itu sendiri (Müller et al., 2021). Oleh karena itu, penting untuk mengeksplorasi lebih lanjut bagaimana variasi diameter kawat kondensor dapat memengaruhi

performa distilator dalam pemurnian bioetanol, terutama dalam hal efisiensi dan keamanan (Chovau et al., 2011).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi diameter kawat kondensor pada distilator terhadap hasil distilasi etanol. Kondensor yang digunakan terbuat dari tembaga, dengan variasi diameter yang berbeda-beda. Penelitian ini akan mengevaluasi bagaimana variasi diameter kondensor memengaruhi efisiensi proses distilasi, kualitas etanol yang dihasilkan, dan jumlah etanol yang dihasilkan per satuan waktu. Dengan mengoptimalkan penggunaan kondensor, diharapkan dapat ditemukan desain yang lebih efisien dalam proses distilasi etanol berbasis biomassa (H. Li & Li, 2020).

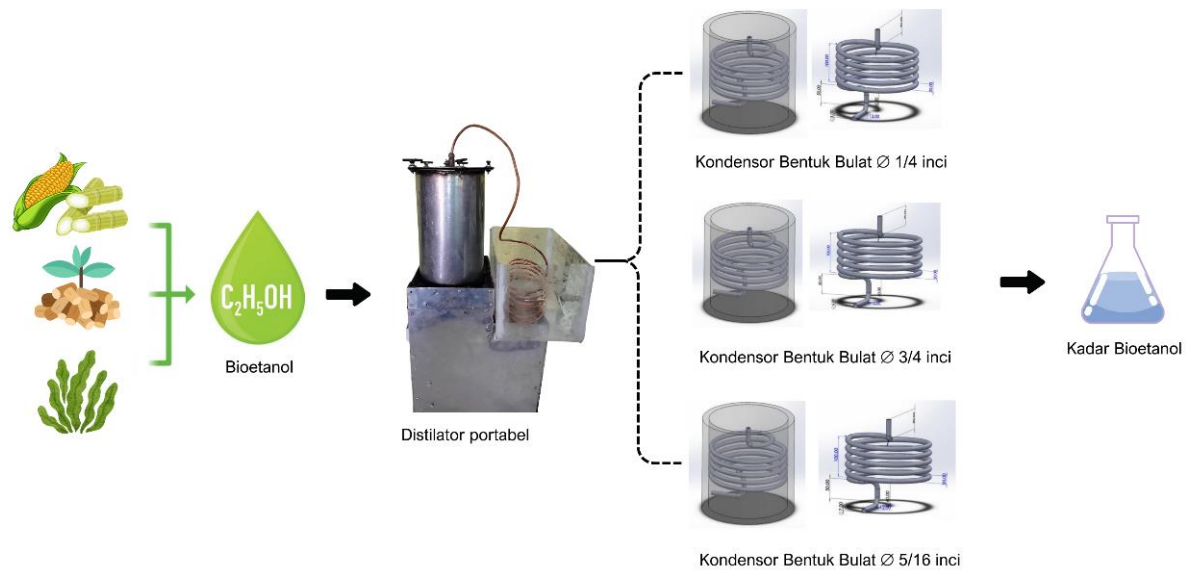
Hasil dari penelitian ini diharapkan tidak hanya memberikan kontribusi terhadap peningkatan teknologi distilasi etanol, tetapi juga mendukung kebijakan energi nasional Indonesia yang mendorong pengembangan energi terbarukan. Sesuai dengan Peraturan Presiden No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, pengembangan bioetanol sebagai energi terbarukan sangat diutamakan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi emisi karbon (PP No. 79, 2014).

#### **METODE PENELITIAN**

Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah eksperimen untuk mengevaluasi pengaruh diameter kawat kondensor terhadap hasil distilasi etanol. Desain eksperimen dipilih karena memungkinkan pengendalian variabel sehingga hasil penelitian dapat diukur dan dianalisis secara akurat. Penelitian ini menggunakan etanol dengan kadar awal 65% yang diproduksi dari biomassa. Proses distilasi dilakukan menggunakan distilator yang dilengkapi dengan kawat kondensor berbahan tembaga. Kondensor yang digunakan memiliki tiga variasi diameter kawat, yaitu  $\varnothing = 1/4$  inci,  $3/4$  inci, dan  $5/16$  inci, berbentuk lingkaran dengan diameter 10 cm. Kondensor terdiri dari 5 tingkat dengan jarak antar tingkat sebesar 1 cm dan kemiringan  $45^\circ$ . Semua eksperimen dilakukan pada volume etanol sebesar 1250 ml.

Instrumen utama dalam penelitian ini meliputi distilator, yang terdiri dari reaktor, kondensor, dan tempat penampung etanol. Kondensor tembaga dengan variasi diameter kawat digunakan untuk menguji pengaruhnya terhadap efisiensi pendinginan dan hasil distilasi. Selain itu, digunakan alkohol meter untuk mengukur kadar etanol yang dihasilkan, gelas ukur untuk mengukur volume etanol, serta pengatur temperatur untuk menjaga suhu distilasi antara  $73^\circ\text{C}$  hingga  $95^\circ\text{C}$ . Proses distilasi berlangsung selama 3 jam, dengan pengukuran dilakukan setiap jam untuk menguji kadar dan volume etanol yang dihasilkan.

Pada tahap persiapan, kondensor dengan berbagai diameter dipasang pada distilator. Setiap kondensor



**Gambar 1.** Distilasi Bioetanol dengan Variasi Diameter Kondensor

memiliki 5 tingkat dengan sudut kemiringan 45°. Etanol dengan volume 1250 ml dan kadar 65% dimasukkan ke dalam distilator, dan suhu dijaga antara 73°C hingga 95°C menggunakan pengatur suhu otomatis.

Kondensor didinginkan dengan aquades selama proses distilasi untuk memfasilitasi kondensasi uap etanol menjadi cairan. Setiap satu jam, kadar etanol yang dihasilkan diukur menggunakan alkohol meter, dan volume etanol dicatat dengan gelas ukur. Pengukuran ini dilakukan untuk setiap variasi diameter kondensor, yakni 1/4 inci, 3/4 inci, dan 5/16 inci.

Setelah proses distilasi selesai, data yang diperoleh dari pengukuran kadar dan volume etanol dianalisis untuk mengevaluasi pengaruh variasi diameter kawat kondensor terhadap efisiensi distilasi. Data yang dihasilkan akan digunakan untuk menentukan konfigurasi kondensor yang paling efisien dalam memproduksi etanol dengan kemurnian dan volume tertinggi.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

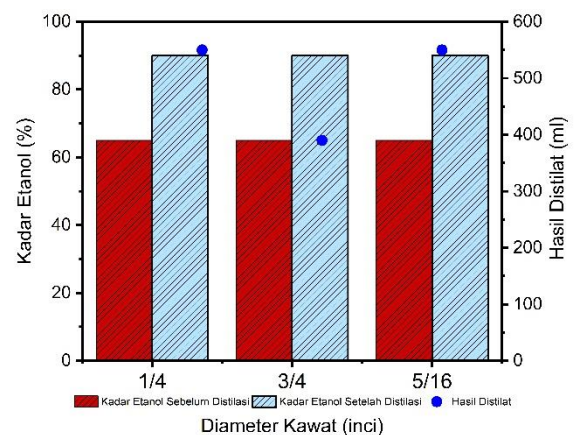
Perbedaan diameter kawat kondensor pada proses distilasi etanol memiliki pengaruh signifikan terhadap jumlah dan kadar etanol yang dihasilkan, namun ada beberapa faktor lain yang juga turut mempengaruhi efisiensi distilasi. Salah satu faktor tersebut adalah pengaturan suhu dan tekanan uap dalam sistem distilasi, yang akan dibahas dalam setiap tahap pengujian. Dalam penelitian ini, tiga variasi diameter kawat kondensor digunakan, yaitu 1/4 inci, 3/4 inci, dan 5/16 inci. Gambar 2 di bawah ini menunjukkan variasi dari bentuk kawat kondensor yang digunakan dalam proses distilasi etanol.



**Gambar 2.** Variasi Kawat Kondensor

### Pengujian 1 Jam Pertama

Pada pengujian 1 jam pertama, hasil distilasi etanol yang dihasilkan oleh kawat kondensor dengan tiga variasi diameter ditampilkan Pada Gambar 3 berikut.



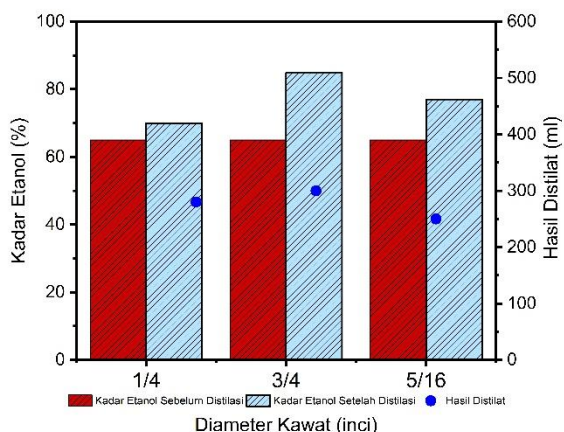
**Gambar 3.** Kadar Etanol dan Hasil Distilat 1 Jam Pertama

Pada jam pertama, kawat kondensor berdiameter 1/4 inci dan 5/16 inci menghasilkan jumlah etanol yang sama, yaitu 550 ml, dengan kadar etanol 90%. Fenomena ini dapat dijelaskan berdasarkan mekanika fluida dan perpindahan panas. Kondensor berdiameter kecil (1/4 inci) menyebabkan aliran uap bergerak lebih lambat dan memberikan waktu yang lebih lama bagi uap etanol untuk terkondensasi, menghasilkan cairan etanol yang lebih banyak. Pada diameter 5/16 inci, meskipun sedikit lebih besar, proses pendinginan tetap efisien karena diameter tersebut masih cukup kecil untuk menahan uap agar mengalami kondensasi maksimal.

Sebaliknya, pada kawat kondensor dengan diameter 3/4 inci, hasil distilat lebih sedikit (390 ml) meskipun kadar etanol tetap 90%. Aliran uap pada diameter yang lebih besar bergerak lebih cepat, menyebabkan lebih banyak uap yang melewati kondensor tanpa terkondensasi sempurna. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan diameter kawat kondensor berbanding terbalik dengan efisiensi kondensasi pada tahap awal distilasi, karena perpindahan panas antara uap dan dinding kondensor tidak cukup untuk mengubah uap menjadi cairan etanol secara optimal. Pernyataan ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya yang menyebutkan bahwa meskipun diameter yang lebih besar dapat meningkatkan koefisien perpindahan panas dan efektivitasnya, hal ini juga dapat menyebabkan peningkatan biaya, penurunan tekanan, dan potensi inefisiensi dalam proses kondensasi uap (Laskowski et al., 2016; R. Li et al., 2019; Simangunsong et al., 2021).

### Pengujian 1 Jam Kedua

Pada pengujian 1 jam kedua, perubahan kadar etanol dan hasil distilat terlihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Kadar Etanol dan Hasil Distilat 1 Jam Kedua

Pada jam kedua, terjadi penurunan kadar etanol dan jumlah distilat yang dihasilkan. Pada kondensor dengan diameter 1/4 inci, penurunan kadar etanol hingga 20% terjadi karena kenaikan suhu reaktor hingga 90°C menyebabkan uap etanol lebih cepat mengalir, dan kondensasi tidak lagi berjalan secara efisien. Tekanan uap yang lebih besar dalam pipa berdiameter kecil

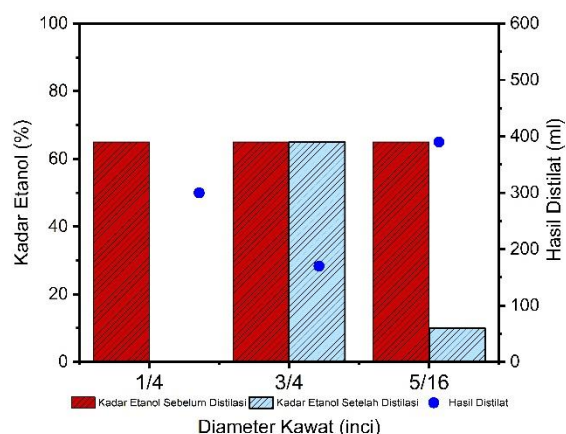
menghasilkan aliran yang lebih cepat, sehingga banyak uap etanol yang terlepas tanpa mengalami kondensasi sempurna.

Pada kawat kondensor dengan diameter 3/4 inci, meskipun kadar etanol menurun hanya 5%, volume distilat yang dihasilkan meningkat menjadi 300 ml. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh keseimbangan aliran uap dan cairan distilat dalam pipa dengan diameter lebih besar. Karena diameter 3/4 inci lebih lebar, terjadi lebih banyak kondensasi uap etanol di bagian bawah pipa, meskipun aliran uap tetap relatif cepat. Proses ini menunjukkan bahwa ukuran diameter pipa yang lebih besar dapat mempertahankan efisiensi distilasi jika kecepatan aliran uap dan perpindahan panas tetap seimbang. Pernyataan ini diperkuat oleh penelitian sebelumnya, yang menyimpulkan bahwa diameter pipa yang lebih besar mampu mempertahankan efisiensi distilasi. Hal ini dicapai dengan mengurangi kehilangan panas serta menstabilkan karakteristik aliran, selama laju aliran uap dan perpindahan panas tetap dalam kondisi seimbang (Ashour et al., 2023; He & Zhao, 2010; Lee et al., 2005).

Pada kawat kondensor berdiameter 5/16 inci, kadar etanol turun sekitar 13% dengan hasil distilat 250 ml. Meskipun lebih sedikit dibandingkan dengan diameter 1/4 inci, ukuran ini memberikan keseimbangan antara pendinginan dan kecepatan aliran uap. Tekanan uap pada pipa dengan diameter ini lebih rendah dibandingkan diameter 1/4 inci, sehingga lebih banyak uap yang terkondensasi, menghasilkan etanol dengan kadar yang lebih baik daripada pada diameter yang lebih kecil.

### Pengujian 1 Jam Ketiga

Hasil distilasi pada jam ketiga menunjukkan perubahan yang lebih dramatis, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Kadar Etanol dan Hasil Distilat 1 Jam Ketiga

Pada kawat kondensor berdiameter 1/4 inci, kadar etanol turun menjadi 0% dan cairan distilat yang dihasilkan adalah 300 ml. Pada titik ini, suhu di reaktor mencapai 95°C, menyebabkan uap etanol mendominasi dan tekanan uap meningkat drastis. Dengan peningkatan

suhu, kecepatan aliran uap terlalu tinggi untuk memungkinkan kondensasi etanol, sehingga semua uap etanol keluar tanpa terkondensasi.

Pada kawat kondensor berdiameter 3/4 inci, hasil yang lebih baik diperoleh dengan kadar etanol yang tetap 65%, meskipun volume distilat hanya 170 ml. Ini menunjukkan bahwa diameter kondensor yang lebih besar memungkinkan keseimbangan yang lebih baik antara aliran uap dan kondensasi, meskipun suhu reaktor meningkat. Perpindahan panas tetap terjadi secara efektif di sepanjang kawat kondensor, sehingga titik didih etanol tetap terjaga dan kondensasi terjadi dengan baik. Kawat kondensor berdiameter 5/16 inci menghasilkan volume distilat tertinggi (390 ml) dengan kadar etanol 10%. Diameter yang lebih besar memungkinkan lebih banyak uap etanol terkondensasi, tetapi penurunan kadar etanol menunjukkan bahwa sebagian besar uap yang terkondensasi adalah air, bukan etanol. Ini disebabkan oleh ketidakseimbangan antara suhu, tekanan uap, dan ukuran diameter pipa, yang mengakibatkan proses pemurnian etanol menjadi kurang efisien pada jam ketiga.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa diameter kawat kondensor memengaruhi efisiensi proses distilasi etanol dari segi volume dan kadar etanol yang dihasilkan. Fenomena-fenomena ini dapat dijelaskan melalui prinsip perpindahan panas dan mekanika fluida. Diameter yang lebih kecil menghasilkan lebih banyak kondensasi pada tahap awal karena aliran uap yang lebih lambat, namun kehilangan efisiensi pada suhu yang lebih tinggi akibat peningkatan tekanan uap. Sebaliknya, diameter yang lebih besar seperti 3/4 inci mampu mempertahankan kadar etanol lebih baik pada suhu tinggi, meskipun volume distilat yang dihasilkan lebih sedikit. Pernyataan ini diperkuat oleh penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa gradien tekanan yang lebih tinggi dan resistansi aliran pada diameter yang lebih kecil berdampak negatif terhadap efisiensi pada kondisi operasional yang lebih tinggi, sehingga diameter yang lebih besar lebih efektif dalam mempertahankan efisiensi distilasi di suhu yang lebih tinggi (Chowdhury et al., 2006; Keniar & Garimella, 2021; Wen et al., 2018).

Penelitian ini berhasil menjawab gap terkait pengaruh variasi diameter kondensor terhadap proses distilasi etanol. Dengan memahami hubungan antara diameter kondensor, tekanan uap, dan suhu, penelitian ini memberikan panduan untuk optimasi sistem distilasi yang lebih efisien dalam menghasilkan etanol dengan kadar tinggi. Diameter kondensor yang seimbang, seperti 5/16 inci, terbukti dapat memberikan keseimbangan antara kadar etanol dan volume yang dihasilkan, meskipun hasil distilat tetap dipengaruhi oleh variabel lain seperti suhu dan tekanan.

## **KESIMPULAN**

Penelitian ini berhasil menjawab tujuan riset, yaitu menganalisis pengaruh variasi diameter kawat kondensor terhadap hasil distilasi etanol. Hasil penelitian

menunjukkan bahwa diameter kondensor memiliki pengaruh signifikan terhadap volume dan kemurnian etanol yang dihasilkan. Diameter kawat yang lebih kecil, seperti 1/4 inci, menghasilkan lebih banyak etanol pada tahap awal karena aliran uap yang lebih lambat dan waktu kondensasi yang lebih lama, namun kehilangan efisiensi pada suhu tinggi akibat tekanan uap yang meningkat. Sebaliknya, diameter yang lebih besar, seperti 3/4 inci, mampu mempertahankan kadar etanol yang lebih baik pada suhu tinggi, meskipun volume distilat yang dihasilkan lebih sedikit. Dari sudut pandang praktis, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa optimalisasi diameter kawat kondensor sangat penting untuk meningkatkan efisiensi produksi etanol, terutama dalam proses distilasi bioetanol berbasis biomassa. Diameter kawat 5/16 inci terbukti memberikan keseimbangan yang baik antara kemurnian dan volume etanol yang dihasilkan, meskipun pengendalian suhu dan tekanan uap tetap diperlukan. Temuan ini tidak hanya berkontribusi pada peningkatan teknologi distilasi, tetapi juga mendukung kebijakan energi terbarukan di Indonesia dengan memajukan bioetanol sebagai alternatif yang berkelanjutan terhadap bahan bakar fosil. Penelitian selanjutnya perlu difokuskan pada penyempurnaan keseimbangan antara desain kondensor, pengendalian suhu, dan aliran uap untuk lebih mengoptimalkan produksi bioetanol, yang akan berdampak pada aplikasi industri dan kebijakan energi, mendukung sistem energi terbarukan yang lebih efisien.

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penelitian ini didanai oleh Hibah Internal yang diberikan oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Muhammadiyah Jember. Bantuan pendanaan ini sangat mendukung pelaksanaan penelitian, mulai dari tahap perencanaan hingga penyelesaian. Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan finansial yang diberikan melalui hibah ini.

## **REFERENSI**

- Ashour, M. A., Stucke, D., Neukäuffer, J., & Grützner, T. (2023). Revisiting heat losses in lab-scale distillation columns: Quantification, improvement, and influence on miniaturized 3D-printed packings. *Chemical Engineering Journal Advances*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.100531>
- Bioenergi, D. (2016). PEDOMAN INVESTASI BIOENERGI DI INDONESIA.
- Chovau, S., Gaykawad, S. S., Straathof, A. J. J., & der Bruggen, B. Van. (2011). Influence of fermentation by-products on the purification of ethanol from water using pervaporation. *Bioresource Technology*, 102(2), 1669–1674. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:33890026>
- Chowdhury, S., Al-hajri, E., Dessiatoun, S., Shoostari, A., & Ohadi, M. (2006). An experimental study of condensation heat transfer and pressure drop in a

- single high aspect ratio micro-channel for refrigerant R134a. Proceedings of the 4th International Conference on Nanochannels, Microchannels and Minichannels, ICNMM2006, 2006 A, 147 – 154. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-33846953236&partnerID=40&md5=4a582e096a62496e3883a29b9429e9dc>
- Halder, P., Azad, K., Shah, S., & Sarker, E. (2018). Prospects and technological advancement of cellulosic bioethanol ecofuel production. In *Advances in Eco-Fuels for a Sustainable Environment*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102728-8.00008-5>
- He, N., & Zhao, Z.-X. (2010). Theoretical and numerical study of hydraulic characteristics of orifice energy dissipator. *Water Science and Engineering*, 3(2), 190 – 199. <https://doi.org/10.3882/j.issn.1674-2370.2010.02.007>
- Herlina, N., & Dewi Harahap, I. S. (2018). The addition of zeolite adsorbents and calcium oxide on purification of bioethanol from sugar palm (arenga pinnata merr). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 130(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/130/1/012035>
- Jain, S., & Kumar, S. (2024). A comprehensive review of bioethanol production from diverse feedstocks: Current advancements and economic perspectives. *Energy*, 296. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.131130>
- Keniar, K., & Garimella, S. (2021). Experimental investigation of refrigerant condensation in circular and square micro- and mini- channels. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 176. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121383>
- Komariah, L. N., Ramdja, A. F., & Leonard, N. (2009). TINJAUAN TEORITIS PERANCANGAN KOLOM DISTILASI UNTUK PRA-RENCANA PABRIK SKALA INDUSTRI. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:109315849>
- Laskowski, R., Smyk, A., Rusowicz, A., & Grzebielec, A. (2016). Determining the optimum inner diameter of condenser tubes based on thermodynamic objective functions and an economic analysis. *Entropy*, 18(12). <https://doi.org/10.3390/e18120444>
- Lee, M.-S., Matousek, V., Chung, C.-K., & Lee, Y.-N. (2005). Pipe size effect on hydraulic transport of Jumoonjin sand - Experiments in a dredging test loop. *Terra et Aqua*, 99, 3 – 10. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-20844446612&partnerID=40&md5=dc77cd3a2319ac12350cb76f2dfcea0d>
- Li, H., & Li, S. (2020). Optimization of Continuous Solid-State Distillation Process for Cost-Effective Bioethanol Production. *Energies*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:213447785>
- Li, R., Tian, R., & Hua, Q. (2019). Design and performance study of condenser for integrated positive pressure evaporation desalination plant. *International Conference on Nuclear Engineering, Proceedings, ICONE*, 2019-May. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85071373422&partnerID=40&md5=a8b319f33b6325f65145f1224d9aa422>
- Müller, M., Becker, T., & Gastl, M. (2021). Transfer of Ethanol and Aroma Compounds by Varying Specific Process Parameters in the Thermal Dealcoholisation of Beer. *Foods*, 10. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:235793623>
- PP No. 79. (2014). PP No. 79 Thn 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional (pp. 1–36).
- Qiao, Z., & Lü, X. (2021). Industrial bioethanol production. In *Advances in 2nd Generation of Bioethanol Production*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818862-0.00003-0>
- Simangunsong, R. G., Amalia, R., & Satrio, D. (2021). Numerical Analysis of a Shell and Tube Heat Exchanger Using Computational Fluid Dynamics Software. In Y. A.A., K. N. A., H. H., P. P.A.M., G. F., R. M., P. Y.R., & R. M. (Eds.), *International Electronics Symposium 2021: Wireless Technologies and Intelligent Systems for Better Human Lives, IES 2021 - Proceedings* (pp. 630 – 635). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/IES53407.2021.9594049>
- Sivakrishnan, S., Veeramani, G., & Mahesh Kumar, V. P. (2019). Bioethanol production from starch- A short review. *Journal of Global Pharma Technology*, 11(12), 1–3. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85076922717&partnerID=40&md5=f54a3090f913a4f7e184e8929d684392>
- Susmiati, Y., Purwantana, B., Bintoro, N., & Rahayoe, S. (2022). Heat Transfer Characteristics in Vertical Tubular Baffle Internal Reboiler through Dimensional Analysis. *International Journal of Technology*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:250226679>
- Wen, J., Gu, X., Wang, S., Li, Y., & Tu, J. (2018). Numerical investigation on condensation heat transfer and pressure drop characteristics of R134a in horizontal flattened tubes; [Étude numérique du transfert de chaleur par condensation et des caractéristiques de la chute de pression du R134a dans des tubes

horizontaux aplatis]. *International Journal of Refrigeration*, 85, 441 – 461.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2017.10.024>