

PENGARUH SUHU DAN WAKTU PEMURNIAN ETANOL 30% TERHADAP PERPINDAHAN PANAS PADA KONDENSOR DAN SIFAT ETANOL

Nurul Hakiki¹, Djoko Wahyudi^{2*}, Muhammad Fathuddin Noor³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Panca Marga

E-mail : djokowahyudi@gmail.com

Masuk : 18 Februari 2025

Direvisi : 13 Maret 2025

Disetujui : 24 Maret 2025

Abstrak: Bioetanol merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar sebagai pengganti bahan bakar fosil. Proses pemurnian bioetanol, khususnya dari kadar 30% menuju kadar yang lebih tinggi, membutuhkan teknologi pemisahan yang efisien, seperti kondensor. Salah satu parameter penting dalam proses ini adalah tingkat Suhu yang digunakan selama pemisahan. Metode yang digunakan meliputi eksperimen dengan variasi tingkat Suhu pada sistem kondensasi. Parameter utama yang dihasilkan pada penelitian ini adalah energi perpindahan panas konveksi pada kondensor dan karakteristik bioetanol yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh tingkat Suhu terhadap produksi bioetanol dalam proses pemurnian, khususnya pada penggunaan kondensor. Dengan memahami hubungan antara Suhu dan hasil produksi, diharapkan penelitian ini dapat memberikan rekomendasi operasional yang lebih efektif dan efisien untuk meningkatkan mutu bioetanol, mengurangi pemborosan energi, dan menekan biaya produksi. Variasi suhu dan waktu pemanasan sangat mempengaruhi hasil akhir karakteristik fisik etanol, sehingga diperlukan optimasi lebih lanjut terhadap parameter operasi pemurnian agar diperoleh etanol dengan kualitas yang sesuai standar nasional. Nilai viskositas mendekati standar SNI sebesar 1,525 N•s/m². Beberapa pengujian menunjukkan nilai viskositas yang jauh lebih tinggi dari standar, yang mengindikasikan kemungkinan adanya pengotor atau senyawa lain yang belum terpisahkan sempurna dalam proses pemurnian. Nilai viskositas sangat rendah, yakni 0,474 N•s/m², yang bisa mengindikasikan kehilangan sebagian komponen etanol akibat kondisi proses yang kurang optimal. Seluruh hasil pengujian, densitas menunjukkan nilai yang jauh lebih tinggi dari standar SNI sebesar 0,789 g/cm³, dengan rentang antara 0,933 hingga 0,961 g/cm³. Sementara itu, hasil titik nyala (*flash point*) menunjukkan nilai mendekati atau bahkan lebih rendah dari standar SNI sebesar 12°C, yakni masing-masing 13°C dan 10,5°C.

Kata kunci: Etanol, Pemurnian, Suhu, Reaktor, Kondensor

Abstract: Ethanol is one of the renewable energy sources that has great potential as a substitute for fossil fuels. The bioethanol purification process, especially from 30% to higher levels, requires efficient separation technology, such as a condenser. One important parameter in this process is the temperature level used during separation. The methods used include experiments with variations in temperature levels in the condensation system. The main parameters produced in this study are the convection heat transfer energy in the condenser and the characteristics of the bioethanol produced. This study aims to analyze the effect of temperature levels on bioethanol production in the purification process, especially in the use of condensers. By understanding the relationship between temperature and production results, it is hoped that this study can provide more effective and efficient operational recommendations to improve bioethanol quality, reduce energy waste, and reduce production costs. Variations in temperature and heating time significantly affect the final physical characteristics of ethanol, requiring further optimization of the purification operating parameters to obtain ethanol with a quality that meets national standards.

The viscosity value is close to the SNI standard of $1.525 \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$. Several tests showed viscosity values that were much higher than the standard, indicating the possibility of impurities or other compounds that were not completely separated during the purification process. The viscosity value was very low, namely $0.474 \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$, which could indicate the loss of some ethanol components due to less than optimal process conditions. All test results showed that the density showed values much higher than the SNI standard of $0.789 \text{ g}/\text{cm}^3$, with a range between 0.933 to $0.961 \text{ g}/\text{cm}^3$. Meanwhile, the flash point results showed values close to or even lower than the SNI standard of 12°C , namely 13°C and 10.5°C , respectively.

Keywords: Ethanol, Purification, Temperature, Reactor, Condenser.

PENDAHULUAN

Etanol atau etil alkohol $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, merupakan cairan bening yang tidak berwarna, larut dalam air, eter, aseton, benzene, dan semua pelarut organik, memiliki bau khas alkohol serta terurai secara biologis, toksisitas rendah dan tidak menimbulkan polusi udara yang besar bila bocor [1]. Hasil penelitian dalam pembuatan etanol yang dilakukan oleh Adilya didapatkan yakni pada massa *Saccaromyces cerevisiae* 50 gram didapatkan kadar etanol sebesar 5%, massa *Saccaromyces cerevisiae* 75 gram didapatkan kadar etanol sebesar 7,5%, dan pada massa *Saccaromyces cerevisiae* 100 gram didapatkan kadar etanol sebesar 10% [2]. Lailly juga melakukan penelitian dengan proses fermentasi pada pembuatan etanol dilakukan pada suhu ruang atau suhu lingkungan yakni 30°C dan dilakukan selama 72 jam proses fermentasi. NPK dan urea adalah nutrisi bagi proses perkembangan mikroba pada proses fermentasi. Variasi penambahan NPK 6 gram, 8 gram, 10 gram menghasilkan kadar etanol sebesar 18%, 15% dan 8%. Penambahan urea 6 gram, 8 gram, dan 10 gram menghasilkan kadar etanol sebesar 9%, 10% dan 10% [3]. Sorgum mengandung pati yang cukup tinggi sebesar $74,63 \text{ g} / 100 \text{ g}$ bahan sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan etanol [4]. Pembuatan etanol berbahan baku pati sorgum ada dua metode yaitu *Separated Hydrolysis Fermentation* (SHF) dan *Simultaneous Saccharification and Fermentation* (SSF). Untuk masing masing proses digunakan variabel konsentrasi pati sebesar 10%, 20% (berat/volume) dan *Saccharomyces Cereviciae* sebagai yeast saat proses fermentasi sebesar 5%, 7%, 9% dari berat pati. Enzim StargenTM sebesar 1ml/100 gram pati sorgum digunakan untuk membantu proses hidrolisis. Dari hasil fermentasi selama 72 jam menunjukkan bahwa sorgum yang difermentasi dengan metode SSF menghasilkan lebih banyak etanol sebesar 111,944 gram/liter dibandingkan metode SHF sebesar 108,645 gram/liter dengan konsentrasi pati sebesar 20% (berat/volume) dan yeast 9% w pati [5].

Kebutuhan akan peningkatan efisiensi proses pemurnian etanol, yang merupakan bahan bakar alternatif ramah lingkungan dan terbarukan. Etanol sering digunakan dalam berbagai industri, seperti farmasi, kosmetik, dan bahan bakar [6]. Namun, untuk meningkatkan kualitas dan daya guna, etanol tersebut perlu dimurnikan lebih lanjut hingga mencapai tingkat kemurnian yang lebih tinggi [7]. Salah satu tahapan penting dalam proses ini adalah kondensasi, yang dipengaruhi oleh suhu dan waktu pada kondensor [8]. Salah satu metode utama dalam pemurnian etanol adalah proses distilasi, dimana etanol dipanaskan hingga menguap, kemudian uapnya dikondensasikan kembali menjadi cairan dengan kandungan etanol yang lebih tinggi [9]. Proses kondensasi ini sangat bergantung pada kinerja kondensor, yang berfungsi untuk mendinginkan uap etanol sehingga berubah menjadi cairan. Suhu merupakan faktor krusial dalam efektivitas kondensasi, karena perbedaan suhu antara uap etanol dan media pendingin akan mempengaruhi laju perpindahan panas serta efisiensi pemurnian etanol [8].

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh suhu dan waktu terhadap energi perpindahan panas konveksi paksa dan menganalisis karakteristik etanol yang dihasilkan dari proses pemurnian. Variasi suhu pemanasan pada proses pemurnian bioetanol berpengaruh signifikan terhadap energi perpindahan panas konveksi pada kondensor dan kualitas bioetanol yang dihasilkan. Dalam proses pemurnian etanol, kondensor memainkan peran penting dalam mengubah uap etanol menjadi cairan. Efektivitas kondensor sangat dipengaruhi oleh suhu. Pengendalian suhu kondensasi yang optimal sangat penting untuk meningkatkan hasil dan kualitas bioetanol. Jika suhu tidak dikontrol dengan baik, sebagian besar etanol bisa hilang sebagai uap yang tidak terkondensasi, sehingga mengurangi efisiensi proses.

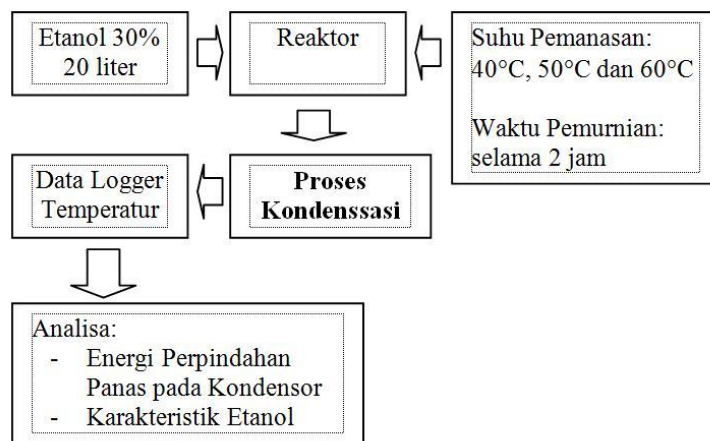
METODOLOGI

2.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan distilasi vakum dengan suhu cairan dalam reaktor sebesar 40°C, 50°C dan 60°C. Bahan uji yang digunakan adalah etanol dengan kadar sebesar 30% sebanyak 20 liter diuji selama 2 jam. Data suhu diambil setiap 600 detik, dan data yang diperoleh dari pencatatan data digunakan untuk menganalisis pengaruh suhu dan waktu pemurnian terhadap hasil kondensasi dan karakteristik etanol hasil pemurnian. Proses kondensasi melibatkan beberapa tahap utama: pertama, uap panas (gas) dengan suhu tinggi masuk ke kondensor dan mentransfer panasnya ke permukaan kondensor melalui konduksi. Selanjutnya, panas tersebut dipindahkan ke media pendingin (seperti air atau udara) melalui konveksi. Setelah itu, uap mulai mengembun menjadi cair selama proses kondensasi, melepaskan panas laten. Akhirnya, panas yang diserap oleh media pendingin dibuang ke lingkungan, menyelesaikan siklus perpindahan panas pada kondensor.

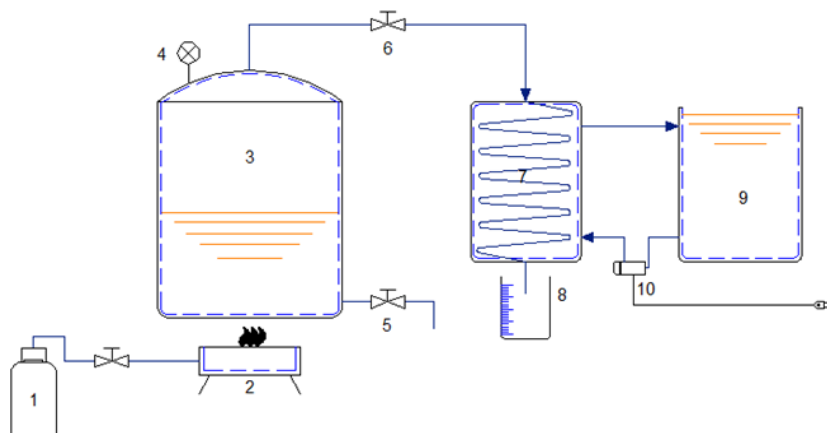
2.2 Skema Penelitian

Proses diawali dengan penggunaan larutan etanol 30% sebanyak 20 liter yang dipanaskan dalam sebuah reaktor. Pemanasan dilakukan pada tiga variasi suhu, yaitu 40°C, 50°C, dan 60°C, dengan durasi pemurnian selama 2 jam untuk setiap suhu. Selama proses berlangsung, data temperatur dicatat menggunakan alat pencatat suhu (data logger) guna memantau dinamika temperatur yang terjadi, khususnya pada bagian kondensor. Proses kondensasi menjadi tahap penting dalam pemisahan etanol dari campurannya, dan menjadi titik fokus dalam pengukuran efisiensi perpindahan panas. Hasil dari eksperimen ini akan dianalisis untuk mengetahui besarnya energi perpindahan panas yang terjadi pada kondensor dan karakteristik etanol hasil pemurnian, seperti yang ditunjukkan gambar 1.



Gambar 1. Skema Penelitian

Skema pada gambar 1 di atas menggambarkan alur penelitian pemurnian bioetanol 30% sebanyak 20 liter melalui proses pemanasan dalam reaktor pada variasi suhu 40°C, 50°C, dan 60°C dengan waktu operasi selama 2 jam. Pemanasan bertujuan untuk menguapkan etanol sehingga uap yang terbentuk dialirkan ke kondensor untuk dikondensasikan kembali menjadi cairan dengan kadar etanol yang lebih tinggi. Selama proses berlangsung, data logger digunakan untuk merekam profil temperatur guna memperoleh gambaran akurat mengenai kondisi termal sistem. Hasil pemurnian kemudian dianalisis dari dua aspek utama, yaitu energi perpindahan panas pada kondensor sebagai indikator efisiensi termal serta karakteristik bioetanol meliputi viskositas, densitas, dan titik nyala sebagai parameter kualitas produk. Dengan demikian, penelitian ini dirancang untuk mengevaluasi pengaruh variasi suhu pemanasan terhadap efisiensi perpindahan panas dan mutu bioetanol, sehingga dapat diperoleh kondisi operasi yang optimal dan sesuai dengan standar mutu nasional.



Gambar 2. Skema Pengujian

Keterangan gambar:

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| 1. LPG | 6. Kran Uap Masuk Kondensor |
| 2. Kompor Modifikasi | 7. Kondensor |
| 3. Reaktor | 8. Tabung Etanol Produk |
| 4. Pengukur Tekanan | 9. Tabung Air Pendingin |
| 5. Kran Pembuangan Sisa Bahan Uji | 10. Pompa Air |

Skema pengujian pada gambar 2 ini menggambarkan alur proses pemurnian etanol menggunakan sistem reaktor, pemanas, kondensor, serta sistem pendingin. Proses diawali dari sumber panas berupa LPG (1) yang dialirkan ke kompor modifikasi (2) untuk menghasilkan panas. Panas tersebut digunakan untuk memanaskan reaktor (3) yang berisi etanol yang akan dimurnikan. Tekanan di dalam reaktor dipantau dengan pengukur tekanan (4). Jika terdapat sisa bahan uji yang tidak terpakai, dapat dibuang melalui kran pembuangan (5). Uap hasil reaksi kemudian dialirkan menuju kran uap masuk kondensor (6) dan masuk ke kondensor (7). Di dalam kondensor, uap yang berasal dari reaktor didinginkan menggunakan sistem pendingin. Pendingin berasal dari tabung air pendingin (9) yang dialirkan ke kondensor dengan bantuan pompa air (10). Hasil pendinginan berupa etanol cair ditampung pada tabung etanol produk (8) sebagai produk akhir.

HASIL DAN PEMBAHASAN

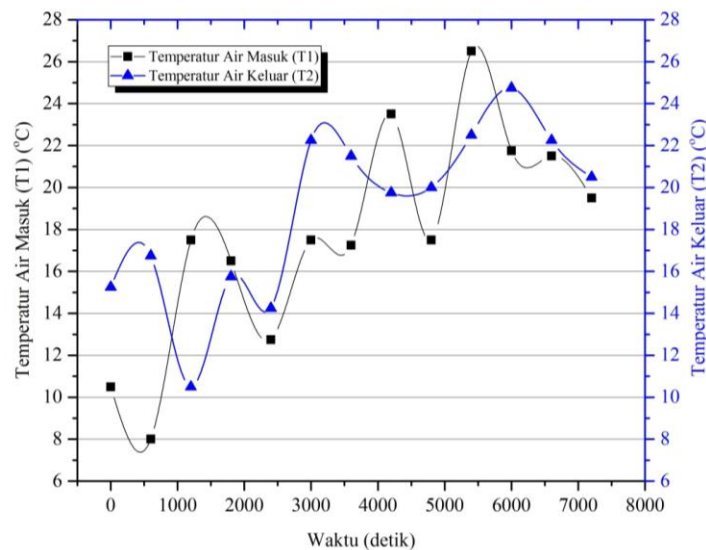
3.1 Temperatur Fluida Air Pendingin Kondensor

Pada gambar 3 merepresentasikan karakteristik perpindahan panas yang terjadi dalam sistem kondensasi, di mana air digunakan sebagai media pendingin untuk menyerap panas dari uap etanol yang mengalami perubahan fase dari gas ke cair. Proses kondensasi menghasilkan pelepasan kalor laten dari uap ke permukaan dingin tabung kondensor. Air pendingin yang masuk ke kondensor memiliki temperatur lebih rendah (T_1), dan setelah menyerap panas dari uap, keluar dengan temperatur yang lebih tinggi (T_2). Hal ini terlihat jelas dalam grafik, di mana pada hampir semua titik waktu, nilai T_2 lebih besar dari T_1 . Selisih temperatur ini mencerminkan keberhasilan proses penyerapan panas dan menjadi indikator efektivitas perpindahan kalor dalam sistem. Fluktuasi yang terjadi pada kedua kurva suhu menunjukkan adanya dinamika termal dalam sistem yang tidak sepenuhnya stabil atau tunak. Beberapa faktor yang mungkin menyebabkan fluktuasi tersebut meliputi perubahan suhu uap etanol, variasi laju aliran air pendingin, atau gangguan pada sistem kontrol suhu.

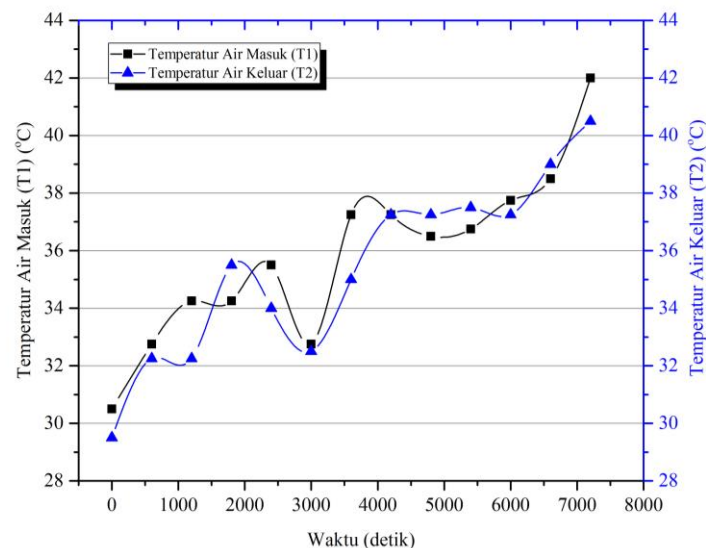
Pada awal proses, temperatur air masuk dan keluar relatif rendah, tetapi seiring berjalannya waktu, terjadi tren kenaikan temperatur pada kedua sisi. Ini dapat mengindikasikan penurunan kapasitas pendinginan air karena peningkatan akumulasi panas dalam sistem atau kurangnya pasokan air segar yang cukup dingin untuk mempertahankan efisiensi pendinginan [10].

Selanjutnya, semakin kecil perbedaan antara T1 dan T2 pada waktu tertentu bisa mengindikasikan bahwa air pendingin telah mencapai batas kemampuannya dalam menyerap panas tambahan. Jika hal ini berlanjut, efektivitas proses kondensasi akan menurun, sehingga perlu dipertimbangkan upaya peningkatan efisiensi, seperti memperbesar laju alir air pendingin atau menambahkan sistem sirkulasi dengan pendingin eksternal. Oleh karena itu, grafik ini tidak hanya menggambarkan variasi suhu semata, tetapi juga dapat dijadikan dasar untuk mengevaluasi performa termal dari sistem kondensor secara keseluruhan.

Grafik pada gambar 3 memperlihatkan bahwa sistem perpindahan panas bekerja sesuai prinsip dasar termodinamika, di mana air pendingin berhasil menyerap panas dari uap etanol [11][12]. Namun, pola fluktuatif menunjukkan perlunya optimalisasi kontrol suhu dan aliran pendingin untuk menjaga kinerja sistem kondensor agar tetap efisien sepanjang proses pemurnian berlangsung [9][13].



Gambar 3. Grafik Temperatur Fluida Air Pendingin Kondensor pada Suhu 40°C

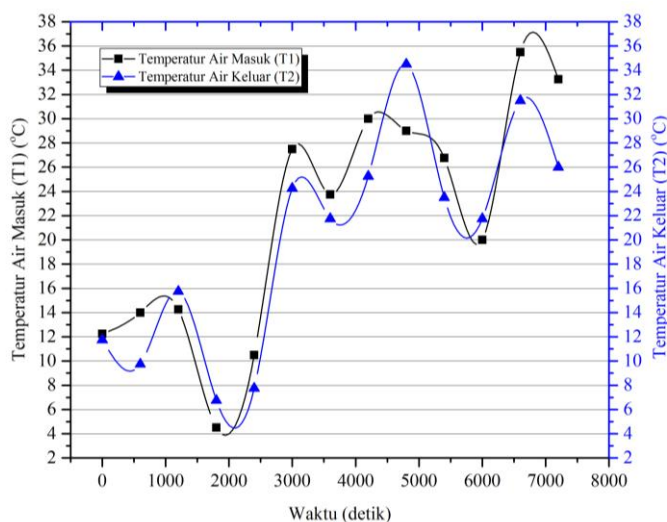


Gambar 4. Grafik Temperatur Fluida Air Pendingin Kondensor pada Suhu 50°C

Gambar 4 menggambarkan perubahan temperatur air pendingin selama proses pemurnian etanol pada suhu 50°C. Dua parameter utama yang dianalisis adalah temperatur air masuk ke kondensor (T1) dan temperatur air keluar dari kondensor (T2),

yang diplot terhadap waktu. Seiring bertambahnya waktu, baik T1 maupun T2 menunjukkan peningkatan yang konsisten. Hal ini mengindikasikan bahwa air pendingin secara bertahap menyerap panas dari uap etanol yang dikondensasikan [14], sehingga suhunya meningkat seiring waktu.

Pada awal proses, terdapat perbedaan yang jelas antara T1 dan T2, di mana T2 umumnya lebih tinggi dari T1. Ini sesuai dengan prinsip perpindahan panas, karena air yang keluar dari kondensor telah menyerap kalor dari uap etanol. Namun, seiring berjalannya waktu, perbedaan antara T1 dan T2 semakin kecil, bahkan mendekati titik yang sama pada beberapa waktu. Fenomena ini menunjukkan bahwa efektivitas pendinginan mulai menurun, karena air pendingin menjadi lebih hangat dan tidak mampu lagi menyerap panas sebanyak sebelumnya. Kondisi ini menandakan bahwa tanpa sistem pendinginan tambahan atau pergantian air secara berkala, suhu air pendingin akan terus meningkat, yang pada akhirnya dapat mengganggu proses kondensasi etanol. Kenaikan suhu yang stabil juga menunjukkan bahwa sistem cenderung mendekati kondisi kerja tunak, namun dengan efisiensi perpindahan panas yang menurun secara perlahan. Oleh karena itu, manajemen suhu air pendingin sangat penting untuk menjaga performa kondensor tetap optimal selama proses pemurnian etanol berlangsung [15].



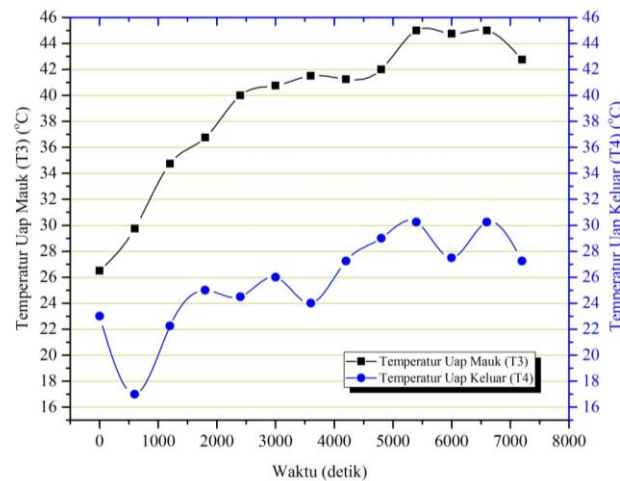
Gambar 5. Grafik Temperatur Fluida Air Pendingin Kondensor pada Suhu 60°C

Gambar 5 menunjukkan variasi temperatur air pendingin pada proses pemurnian etanol dengan suhu operasi 60°C terhadap waktu. Dua parameter utama yang diukur adalah temperatur air pendingin yang masuk ke kondensor (T1) dan temperatur air yang keluar dari kondensor (T2). Terlihat bahwa kedua temperatur mengalami fluktuasi yang cukup signifikan selama proses berlangsung, tidak menunjukkan tren peningkatan yang konsisten seperti pada grafik suhu pemurnian 50°C.

Fluktuasi ini mencerminkan dinamika perpindahan panas yang lebih kompleks pada suhu pemurnian yang lebih tinggi [16]. Kenaikan suhu fluida uap (etanol) pada 60°C menyebabkan beban panas yang harus diserap oleh air pendingin menjadi lebih besar. Namun, karena sistem pendingin tidak mengalami perubahan atau peningkatan efisiensi, fluktuasi temperatur terjadi akibat kemampuan pendinginan yang tidak stabil, kemungkinan dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti perubahan laju alir air atau ketidakmerataan perpindahan panas di dalam kondensor [17].

Perbedaan antara T1 dan T2 tetap terlihat jelas sepanjang waktu, menunjukkan bahwa perpindahan panas dari uap ke air tetap berlangsung. Namun, pada beberapa titik waktu, T1 dan T2 terlihat hampir menyentuh, yang menandakan penurunan kemampuan air pendingin untuk menyerap panas secara optimal. Hal ini bisa berdampak pada efektivitas kondensasi etanol, di mana proses pengembunan tidak berlangsung sempurna jika gradien suhu tidak cukup besar. Dengan demikian, data ini memperkuat pentingnya pengaturan sistem pendingin secara dinamis pada suhu operasi tinggi agar efisiensi pemurnian tetap terjaga.

3.2 Temperatur Fluida Uap Kondensor

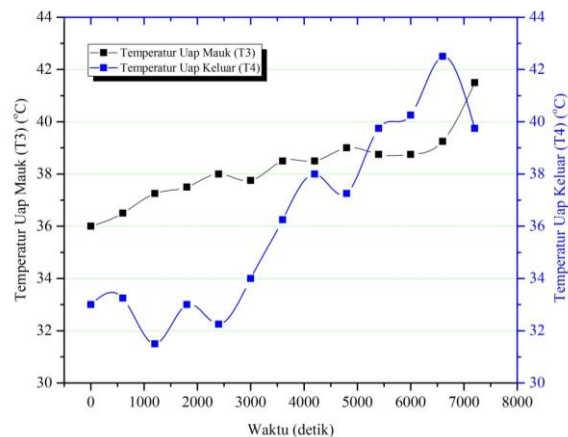


Gambar 6. Grafik Temperatur Fluida Uap Kondensor pada Suhu 40°C

Gambar 6 menggambarkan perubahan temperatur uap etanol pada saat masuk ke kondensor (T3) dan setelah keluar dari kondensor (T4) selama proses pemurnian. Temperatur uap masuk (T3) menunjukkan peningkatan secara signifikan dari awal hingga sekitar 6000 detik, lalu cenderung stabil mendekati 45°C. Hal ini menandakan bahwa selama proses berlangsung, suhu uap etanol yang dikirim ke kondensor semakin tinggi, yang mungkin disebabkan oleh peningkatan pemanasan di reaktor atau penurunan efisiensi pendinginan seiring waktu.

Temperatur uap keluar (T4) tetap berada pada kisaran yang lebih rendah dibandingkan T3, menunjukkan bahwa proses kondensasi masih berlangsung, yakni uap etanol kehilangan panas dan berubah menjadi cairan saat melewati kondensor. Fluktuasi pada T4 mengindikasikan adanya ketidakkonsistenan dalam efektivitas perpindahan panas, yang kemungkinan disebabkan oleh perubahan suhu air pendingin atau ketidakstabilan aliran uap dan pendingin.

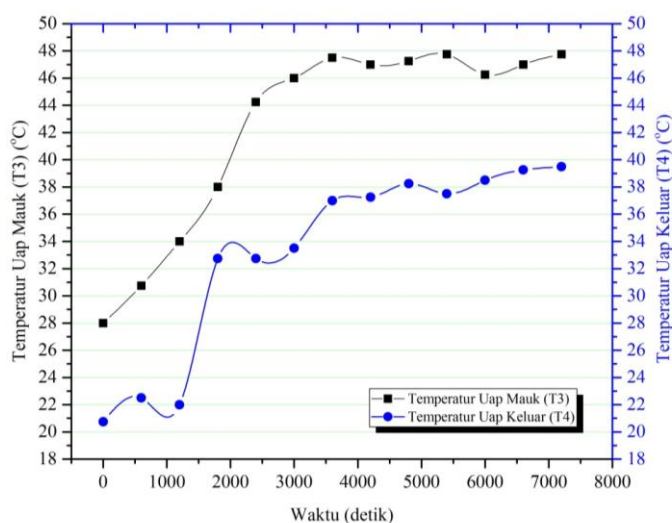
Perbedaan antara T3 dan T4 sepanjang waktu merupakan cerminan dari efisiensi perpindahan panas di kondensor. Selama perbedaan suhu tetap signifikan, perpindahan panas dan proses kondensasi dapat dikatakan berjalan dengan baik. Namun, jika perbedaan tersebut mengecil, artinya sebagian uap mungkin tidak sepenuhnya terkondensasi, yang bisa berdampak pada kualitas produk etanol yang dihasilkan.



Gambar 7. Grafik Temperatur Fluida Uap Kondensor pada Suhu 50°C

Gambar 7 memperlihatkan bahwa temperatur uap masuk (T3) mengalami kenaikan secara bertahap dari sekitar 35°C menjadi sekitar 41°C pada akhir periode. Ini mencerminkan bahwa fluida uap yang masuk ke dalam kondensor secara bertahap menjadi lebih panas seiring waktu, yang bisa diakibatkan oleh peningkatan suhu operasi sistem atau proses pemanasan lanjutan dalam reaktor.

Temperatur uap keluar (T4) juga mengalami kenaikan, namun dengan pola yang lebih fluktuatif. T4 dimulai dari sekitar 32°C dan mengalami penurunan kecil pada fase awal (hingga sekitar 2000 detik), kemudian mulai meningkat dengan variasi hingga mencapai puncak di sekitar 42°C pada waktu 6600 detik, lalu sedikit menurun di akhir. Pola fluktuasi ini menunjukkan bahwa perpindahan panas di dalam kondensor tidak berlangsung secara konstan kemungkinan besar karena pengaruh dari aliran pendingin, tekanan sistem, atau fluktuasi energi yang diterima oleh fluida.



Gambar 8. Grafik Temperatur Fluida Uap Kondensor pada Suhu 60°C

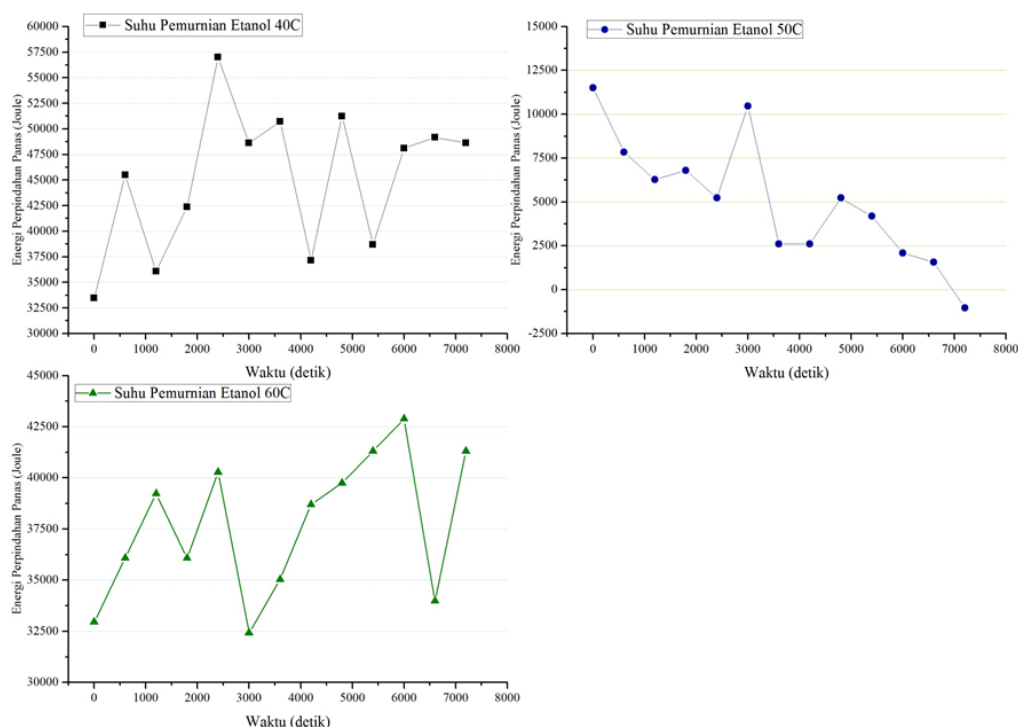
Gambar 8 menunjukkan perbandingan temperatur uap masuk (T3) dan temperatur uap keluar (T4) terhadap waktu (dalam detik) dalam sistem perpindahan panas, khususnya pada bagian kondensasi atau pendinginan uap. Temperatur uap masuk (T3) menunjukkan pola peningkatan yang cukup signifikan dari awal hingga sekitar 3600 detik, dari suhu awal sekitar 28°C hingga mencapai 47°C. Setelah itu, temperatur cenderung stabil di kisaran 46–48°C hingga akhir pengamatan. Peningkatan ini kemungkinan besar diakibatkan oleh meningkatnya energi panas yang diberikan dalam sistem, sehingga menghasilkan uap dengan temperatur lebih tinggi yang masuk ke kondensor.

Temperatur uap keluar (T4), menunjukkan pola yang lebih fluktuatif namun juga secara umum mengalami kenaikan. Awalnya suhu T4 berkisar 22°C, lalu naik tajam pada sekitar 2000–3000 detik hingga mencapai 35°C, dan kemudian terus meningkat secara perlahan hingga mencapai sekitar 39°C di akhir pengamatan. Perbedaan antara T3 dan T4 menggambarkan efektivitas proses perpindahan panas di kondensor. Dalam sistem kondensasi yang efisien, uap yang masuk (T3) seharusnya didinginkan secara signifikan sehingga suhu keluar (T4) jauh lebih rendah.

3.3 Energi Perpindahan Panas Konveksi pada Kondensor

Pada gambar 9 menunjukkan perbandingan energi perpindahan panas konveksi pada kondensor selama proses pemurnian etanol pada tiga temperatur berbeda, yaitu 40°C, 50°C, dan 60°C. Grafik pertama menggambarkan fluktuasi energi pada suhu pemurnian 40°C, yang berkisar antara 35.000 hingga 60.000 Joule. Pola yang tidak stabil ini menunjukkan bahwa selisih temperatur antara uap masuk dan air pendingin (ΔT) mengalami perubahan signifikan dari waktu ke waktu. Hal ini dapat disebabkan oleh variasi temperatur uap dan/atau air pendingin, serta dinamika aliran fluida yang tidak konstan. Fluktuasi ini menandakan bahwa proses perpindahan panas belum mencapai kondisi tunak dan masih berada dalam tahap transien.

Pada grafik kedua merepresentasikan suhu pemurnian 50°C, terlihat tren penurunan energi perpindahan panas secara konsisten seiring waktu, dari sekitar 12.000 Joule hingga mendekati nol. Penurunan ini menunjukkan bahwa perbedaan temperatur antara uap dan air pendingin semakin kecil, sehingga energi yang dapat dipindahkan oleh proses konveksi semakin menurun. Ini menandakan mendekatnya kondisi kesetimbangan termal antara uap dan air pendingin, yang mengurangi efisiensi kondensasi. Dalam kondisi seperti ini, kapasitas kondensor dalam mendinginkan uap menjadi cair semakin menurun, dan proses pemurnian menjadi kurang efektif. Grafik ketiga memperlihatkan hasil pemurnian pada suhu 60°C, dengan energi perpindahan panas yang lebih stabil dibanding suhu 40°C dan cenderung meningkat hingga mencapai sekitar 42.000 Joule. Meskipun masih terdapat fluktuasi, grafik menunjukkan bahwa proses perpindahan panas terjadi lebih efektif karena temperatur uap yang lebih tinggi menciptakan perbedaan suhu yang cukup besar terhadap air pendingin. Hal ini menyebabkan laju perpindahan panas yang relatif konsisten dan efisien, sehingga kondensor mampu bekerja secara optimal dalam mengubah uap etanol menjadi cairan.



Gambar 9. Grafik Temperatur Fluida Uap Kondensor pada Suhu 60°C

Secara keseluruhan, perbandingan ketiga grafik menunjukkan bahwa suhu pemurnian yang lebih tinggi cenderung menghasilkan perpindahan panas yang lebih stabil dan efisien. Namun, penting untuk menjaga agar selisih temperatur antara uap dan air pendingin tetap besar agar efisiensi kondensor tetap optimal. Pada suhu rendah seperti 40°C, fluktuasi tinggi mengindikasikan sistem yang belum stabil, sedangkan pada suhu 50°C terjadi penurunan drastis energi karena kecenderungan mendekati kesetimbangan termal. Oleh karena itu, pemilihan suhu operasi dan pengendalian temperatur pendingin sangat penting dalam menjaga efektivitas proses kondensasi.

3.4 Karakteristik Etanol Hasil Pemurnian

Berikut ini disajikan data hasil pengujian karakteristik fisik etanol hasil proses pemurnian yang dilakukan pada berbagai variasi suhu dan durasi waktu. Parameter yang dianalisis meliputi viskositas, densitas, dan titik nyala (flash point) dari sampel etanol hasil pemurnian, yang kemudian dibandingkan dengan standar mutu etanol berdasarkan SNI (Standar Nasional Indonesia). Pengujian dilakukan pada suhu 40 °C, 50 °C, dan 60 °C dengan lama waktu proses bervariasi antara 3600 detik hingga 7200 detik.

Tabel 1. Hasil Pengujian Pemurnian Etanol

No	Standart Etanol	Data Hasil Pengujian		
		Viskositas (N.s/m ²)	Densitas (g/cm ³)	Flash Point (°C)
1	Pengujian 1 (suhu 40°C selama 7200 detik)	1,039	0,961	28
2	Pengujian 2 (suhu 50°C selama 5400 detik)	1,386	0,937	13
3	Pengujian 3 (suhu 50°C selama 7200 detik)	2,524	0,949	10,5
4	Pengujian 4 (suhu 60°C selama 3600 detik)	2,439	0,933	26
5	Pengujian 5 (suhu 60°C selama 5400 detik)	0,474	0,945	27,5
6	Pengujian 6 (suhu 60°C selama 7200 detik)	2,214	0,955	27,5
7	SNI [18]	1.525	0.789	12

Berdasarkan hasil pengujian viskositas, densitas, dan titik nyala (flash point) etanol pada berbagai variasi suhu dan waktu, jika dibandingkan dengan standar mutu etanol menurut SNI, diperoleh beberapa temuan penting. Secara umum, nilai viskositas etanol hasil pengujian menunjukkan variasi yang cukup signifikan. Hanya pengujian ke-2 (pada suhu 50°C selama 5400 detik) yang mendekati nilai viskositas standar SNI sebesar 1,525 N•s/m². Sebaliknya, beberapa pengujian seperti pengujian ke-3 dan ke-4 menunjukkan nilai viskositas yang jauh lebih tinggi dari standar, yang mengindikasikan kemungkinan adanya pengotor atau senyawa lain yang belum terpisah sempurna dalam proses pemurnian [19]. Pengujian ke-5 bahkan menunjukkan nilai viskositas sangat rendah, yakni 0,474 N•s/m², yang bisa mengindikasikan kehilangan sebagian komponen etanol akibat kondisi proses yang kurang optimal.

Dalam hal densitas, seluruh hasil pengujian menunjukkan nilai yang jauh lebih tinggi dari standar SNI sebesar 0,789 g/cm³, dengan rentang antara 0,933 hingga 0,961 g/cm³. Densitas yang lebih tinggi ini sangat mungkin disebabkan oleh masih adanya kandungan air dalam etanol hasil pemurnian [20], karena air memiliki densitas lebih besar dari etanol murni. Ini menunjukkan bahwa proses pemurnian yang dilakukan belum berhasil memisahkan air secara efektif.

Sementara itu, hasil titik nyala (flash point) menunjukkan bahwa hanya pengujian ke-2 dan ke-3 yang memiliki nilai mendekati atau bahkan lebih rendah dari standar SNI sebesar 12°C, yakni masing-masing 13°C dan 10,5°C. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan etanol dalam sampel tersebut cukup tinggi dan relatif murni. Sebaliknya, nilai flash point yang lebih tinggi pada pengujian lainnya mengindikasikan keberadaan senyawa pengotor yang meningkatkan titik nyala bahan tersebut [21]. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa dari seluruh parameter yang diuji, hanya pengujian ke-2 yang paling mendekati spesifikasi mutu etanol sesuai SNI. Variasi suhu dan waktu pemanasan sangat mempengaruhi hasil akhir karakteristik fisik etanol, sehingga diperlukan optimasi lebih lanjut terhadap parameter operasi pemurnian agar diperoleh etanol dengan kualitas yang sesuai standar nasional.

KESIMPULAN

Energi perpindahan panas konveksi cenderung meningkat seiring waktu, terutama pada suhu 40°C dan 60°C. Hal ini sesuai dengan prinsip dasar termodinamika bahwa selama proses berlangsung, akumulasi energi yang dipindahkan meningkat karena semakin banyak energi panas yang dihantarkan dari fluida uap ke fluida pendingin melalui permukaan kondensor.

Misalnya, pada suhu 60°C, energi perpindahan panas meningkat dari 32.942,7 J pada detik pertama menjadi 41.309,1 J pada detik ke-7200. Namun, fluktuasi tetap terjadi, yang kemungkinan besar disebabkan oleh variasi suhu aktual fluida uap dan pendingin selama proses berlangsung, serta kemungkinan perubahan aliran atau turbulensi. Pengaruh suhu pemurnian menunjukkan hasil yang kompleks. Pada suhu 40°C, energi konveksi cenderung tinggi dan relatif stabil dengan kisaran 33.465,6 J hingga 56.996,1 J. Sebaliknya, pada suhu 50°C, nilai energi justru lebih rendah dan cenderung menurun drastis seiring waktu, bahkan mencapai nilai negatif (-1045,8 J) pada detik ke-7200. Ini mengindikasikan kemungkinan kesalahan pengukuran, atau perubahan arah perpindahan panas (heat loss alih-alih heat gain), atau menurunnya gradien temperatur antara fluida uap dan pendingin, yang menyebabkan efisiensi perpindahan panas menurun drastis. Suhu 60°C menunjukkan nilai energi konveksi yang relatif tinggi dan stabil, meskipun tidak setinggi suhu 40°C. Ini menunjukkan bahwa pada suhu tinggi, meskipun perbedaan suhu antara fluida uap dan fluida pendingin besar, efisiensi perpindahan panas tetap tergantung pada faktor lain seperti laju alir, turbulensi, dan sifat termofisika dari fluida. Karakteristik etanol hasil proses pemurnian menunjukkan variasi yang cukup signifikan terhadap parameter viskositas, densitas, dan flash point, bergantung pada suhu dan durasi pemurnian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. I. F. Nisa and A. Aminudin, "Pengaruh Waktu Distilasi Etanol-Air Terhadap Konsentrasi Overhead Product dan Bottom Product," *Chem. Eng. Res. Artic. ISSN*, vol. 2, no. 1, pp. 19–25, 2019, doi: <https://doi.org/10.25273/cheesa.v2i1.4469>.
- [2] A. Cahyaningtiyas, C. Sindhuwati, J. T. Kimia, and P. N. Malang, "PENGARUH PENAMBAHAN KONSENTRASI SACCHAROMYCES CEREVISIAE PADA PEMBUATAN ETANOL DARI AIR TEBU," *Distilat J. Teknol. Separasi*, vol. 7, no. 9, pp. 89–94, 2021, doi: <https://doi.org/10.33795/distilat.v7i2.207>.
- [3] C. S. Lailly Qomariyah, "PENGARUH PENAMBAHAN NPK DAN UREA PADA PEMBUATAN ETANOL DARI AIR TEBU MELALUI PROSES FERMENTASI," *Distilat J. Teknol. Separasi*, vol. 7, no. 9, pp. 82–88, 2021, doi: <https://doi.org/10.33795/distilat.v7i2.186>.
- [4] D. Wahyudi, Y. Hendrawan, and N. Hamidi, "Bernoulli Distillation System (BDS) for Bioethanol Sorghum Stalk Purification," *Pertanika J. Sci. Technol.*, vol. 32, no. 6, pp. 2421–2440, 2024, doi: <https://doi.org/10.47836/pjst.32.6.02>.
- [5] K. Haryani, N. A. Handayani, H. Harles, and S. A. Putri, "Pengaruh Konsentrasi Pati dan Yeast pada Pembuatan Etanol dari Pati Sorgum Melalui Proses Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF) dan Separated Hydrolysis Fermentation (SHF) Kristinah Haryani dkk / Jurnal Rekayasa Mesin," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 16, no. 2, pp. 132–139, 2021.
- [6] M. F. Ferdinal and A. A. Wibowo, "Studi Optimasi Pressure Swing Distillation Pada Pemurnian Etanol Menggunakan Chemcad," *Distilat J. Teknol. Separasi*, vol. 7, no. 2, pp. 255–263, 2021, doi: [10.33795/distilat.v7i2.217](https://doi.org/10.33795/distilat.v7i2.217).
- [7] S. Isvandiary and S. Tjahjani, "PEMANFAATAN ZEOLIT ALAM UNTUK MENINGKATKAN KEMURNIAN BIOETANOL DARI SINGKONG KARET (Manihot glaziovii)," *UNESA J. Chem.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–7, 2020.
- [8] M. I. Hutasuht, "Analisis Perpindahan Kalor Kondensor Pada Proses Distilasi Bioetanol Sebagai Biofuel Dari Campuran Limbah Buah Salak Dengan Limbah Air Kelapa," *J. Mech. Eng. Manuf. Mater. Energy*, vol. 2, no. 2, p. 43, 2018, doi: [10.31289/jmemme.v2i2.2006](https://doi.org/10.31289/jmemme.v2i2.2006).
- [9] D. Wahyudi, Y. Hendrawan, and N. Hamidi, "Performance of low cost sensor temperature logger in double jacket reactor vacuum distillation," *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 33, no. 3, pp. 1424–1435, 2024, doi: [10.11591/ijeecs.v33.i3.pp1424-1435](https://doi.org/10.11591/ijeecs.v33.i3.pp1424-1435).
- [10] Y. Maulana, Y. S. Gaos, and I. Wiradinata, "ANALISIS KESEIMBANGAN TERMAL SISTEM PENDINGIN MESIN PEMBANGKIT LISTRIK ORC (ORGANIC RANKINE CYCLE) KAPASITAS 500 kW," *AME (Aplikasi Mek. dan Energi) J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 1, p. 24, 2019, doi: [10.32832/ame.v5i1.2354](https://doi.org/10.32832/ame.v5i1.2354).

-
- [11] E. K. Wati, *Perpindahan Kalor & Massa Konsep dan Aplikasi*. 2021.
- [12] T. Setiawan, “Rancang bangun alat destilasi uap bioetanol dengan bahan baku batang pisang,” *J. Media Teknol.*, vol. 04, no. 02, pp. 119–128, 2018.
- [13] D. Wahyudi, D. Hari, T. Prasetyo, M. F. Noor, and A. Darmanto, “PURIFICATION AND CHARACTERISTICS OF WASTE LUBRICATING OIL AS DIESEL-LIKE FUEL,” *J. Mech. Eng.*, vol. 69, 2025.
- [14] Y. Hendrawan, A. Lastriyanto, B. D. Argo, and O. E. Y, “Variasi Tekanan Dan Suhu Pada Proses Purifikasi Etanol Menggunakan Membran Komposit Poly Ether Sulfone Pada Proses Pervaporasi Membran Various Of Pressure and Temperature In Ethanol Purification Using Composite Membrane Poly Ether Sulfone In Membrane Perv,” *J. Keteknikan Pertan. Trop. dan Biosist.*, vol. 4, no. 3, pp. 262–274, 2016.
- [15] M. Suharto, A. A. Wibowo, and P. H. Suharti, “Optimasi Pemurnian Etanol Dengan Distilasi Ekstraktif Menggunakan Chemcad,” *Distilat J. Teknol. Separasi*, vol. 6, no. 1, pp. 1–7, 2020, doi: 10.33795/distilat.v6i1.53.
- [16] H. Riupassa and W. G. Allo, “Analisis Konveksi Alami dan Paksa dengan Variasi Material,” *J. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 1, pp. 39–48, 2019, [Online]. Available: <http://ojs.ustj.ac.id/mesin/article/view/428>.
- [17] O. N. Bagaskara, “Perbandingan Laju Perpindahan Panas Pada Kondensor Pltu Unit Iv Pt . Pjb Up Gresik Dengan Perbedaan Material Tube Aluminium Brass C6870T Dan Titanium Tth35W Perbandingan Laju Perpindahan Panas Pada Kondensor Pltu Unit Iv Pt . Pjb Up Gresik Dengan Perbedaa,” *Tugas Akhir*, 2016.
- [18] D. ESDM RI, “SK Dirjen Minyak dan Gas Bumi Nomor 23204.K/10/DJM.S/2008 tentang Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Nabati (Biofuel) Jenis Bioetanol Sebagai Bahan Bakar Lain yang Dipasarkan di Dalam Negeri,” pp. 1–3, 2008.
- [19] K. S. Widyaningrum, D. K. Setiawan, and B. S. Kaloko, “Pengaruh Variasi Suhu Destilasi Terhadap Karakteristik Minyak Jarak Sebagai Alternatif Isolasi Cair pada Transformator Daya,” *Berk. Sainstek*, vol. 5, no. 1, p. 41, 2017, doi: 10.19184/bst.v5i1.5374.
- [20] A. E. Mansy *et al.*, “Sustainable production of bioethanol from office paper waste and its purification via blended polymeric membrane,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 299, no. September 2023, p. 117855, 2024, doi: 10.1016/j.enconman.2023.117855.
- [21] A. Di Benedetto, R. Sanchirico, and V. Di Sarli, “Effect of pressure on the flash point of various fuels and their binary mixtures,” *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 116, pp. 615–620, 2018, doi: 10.1016/j.psep.2018.03.022.