



Analisis Efektivitas Perpindahan Panas Kondensor pada Proses Destilasi Daun Serai Wangi

Analysis of the Effectiveness of Heat Transfer in the Condenser of Lemongrass Distillation Process

Septa Fernando Karo Karo, Darianto, & Muhammad Idris

Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area, Indonesia

Abstrak

Kondensor merupakan salah satu komponen utama pada sistem yang berkerja mengkondensasi uap menjadi cair. Kinerja dari suatu kondensor dapat dipengaruhi oleh laju perpindahan panas, tekanan vakum dan efektivitas. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai efektivitas dan variabel-variabel yang mempengaruhi kinerja kondensor pada proses destilasi daun serai wangi serta mengetahui pengaruh laju perpindahan panas terhadap kondensasi film (massa uap kondensat). Metode penelitian nilai efektivitas menggunakan Log Mean Temperature Different (LMTD) dan Effectiveness - Number of Transfer Unit (NTU) serta membandingkan massa uap kondensat dengan laju aliran massa uap untuk mendapatkan kondensasi film. Pada hasil Penelitian, perhitungan nilai efektivitas pada kondensor didapatkan sebesar 89%, dan massa uap kondensat 36% yang menjadi biooil. Variabel yang mempengaruhi adalah kapasitas rasio sebesar 0,0182840, laju perpindahan panas sebesar 186544,68 W. LMTD sebesar 29,74 C, Sehingga dapat disimpulkan bahwa kondensor yang ada pada proses destilasi daun serai wangi masih mempunyai peforma yang baik.

Kata Kunci: Kondensor; Laju Perpindahan Panas; Efektivitas NTU

Abstract

The condenser is one of the main components in a system that condenses vapor into liquid. The performance of a condenser can be influenced by heat transfer rate, vacuum pressure, and effectiveness. The aim of this research is to determine the effectiveness value and variables that affect the performance of the condenser in the lemongrass distillation process, as well as to understand the influence of heat transfer rate on film condensation (condensate vapor mass). The research method used the Log Mean Temperature Difference (LMTD) and Effectiveness - Number of Transfer Unit (NTU) to calculate the effectiveness value and compared the condensate vapor mass with the mass flow rate of vapor to obtain film condensation. The research results showed an effectiveness value of 89% in the condenser, and the condensate vapor mass accounted for 36% of the biooil. The influencing variables were a capacity ratio of 0.0182840, a heat transfer rate of 186544.68 W, and an LMTD of 29.74°C. Therefore, it can be concluded that the condenser used in the lemongrass distillation process still performs well.

Keywords: Condensor; Heat Transfer Rate; Effectiveness NTU

How to Cite: Septa Fernando Karo Karo, Darianto, & Muhammad Idris. (2023). Analisis Efektivitas Perpindahan Panas Kondensor pada Proses Destilasi Daun Serai Wangi. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin dan Industri (JITMI)*, 2(1) 2023: 31-40,

PENDAHULUAN

Krisis bahan bakar fosil yang terjadi di Indonesia telah memaksa Indonesia untuk melakukan impor bahan bakar dalam bentuk minyak mentah. Dampak dari kebijakan tersebut, pada tahun 2015 Indonesia mengalami defisit anggaran sebesar Rp. 2,1 triliun untuk menanggulangi hal tersebut (Siddiqui & Dincer, 2021). Potensi cadangan minyak bumi Indonesia pada tahun 2014 hanya tersisa 3,6 miliar barel. Jika Indonesia tidak segera menemukan bahan bakar alternatif, maka minyak bumi di Indonesia akan habis dalam 12 tahun ke depan (Shi et al., 2022). Di sisi lain, emisi gas buang (CO, CO₂, NO_x, dll) dari bahan bakar fosil memberikan dampak negatif bagi lingkungan dan kesehatan. Sumber energi alternatif di Indonesia sangat melimpah jumlahnya, salah satunya adalah energi biomassa. Dari jumlah potensi yang tersedia, hanya 5,4% yang memberikan kontribusi bagi kebutuhan bahan bakar di dalam negeri (Lu et al., 2022).

Konversi biomasa menjadi bahan bakar adalah suatu proses penting dalam upaya mencari alternatif energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan (Kumar et al., 2022). Terdapat dua cara utama dalam konversi biomasa, yaitu metode Biochemical dan metode Thermochemical. Metode Biochemical merupakan proses konversi yang digunakan untuk mengubah bahan biomasa yang mudah membusuk, seperti limbah organik atau sisa-sisa tanaman, menjadi bahan bakar. Proses ini melibatkan penggunaan mikroorganisme atau enzim untuk menguraikan komponen organik dalam biomasa menjadi bahan bakar cair atau gas. Metode ini umumnya digunakan dalam produksi bioetanol, biogas, dan biodiesel (Deivayanai et al., 2022). Sementara itu, metode Thermochemical digunakan untuk mengkonversi biomasa yang berbentuk padat atau keras, seperti serat kayu atau jerami, menjadi bahan bakar. Proses ini melibatkan pemanasan biomasa pada suhu tinggi dalam kondisi terbatas oksigen, yang menghasilkan gas seperti gas sintesis atau gas buang. Gas-gas tersebut kemudian dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam berbagai aplikasi, termasuk pembangkit listrik atau pemanas industri (Vuppaladadiyam et al., 2022). Dalam penelitian ini, penulis akan fokus pada konversi biomasa dari Daun Serai Wangi menggunakan metode destilasi atau penyulingan. Destilasi adalah suatu proses pemisahan zat-zat yang terkandung dalam biomasa berdasarkan perbedaan titik didihnya. Pada proses destilasi, biomasa dipanaskan sehingga komponen-komponen yang menguap dengan titik didih yang lebih rendah akan terpisah dan dikumpulkan sebagai bahan bakar cair (Bin et al., 2016).

Destilasi adalah suatu proses penting dalam industri kimia yang digunakan untuk memisahkan campuran zat berdasarkan perbedaan titik didihnya (O'Kane et al., 2021). Pada proses destilasi, bahan yang akan dipisahkan dipanaskan hingga mencapai titik didihnya dalam suatu bejana tertutup. Panas yang diberikan menyebabkan zat tersebut menguap dan berubah menjadi uap. Setelah berubah menjadi uap, uap tersebut kemudian didinginkan kembali menggunakan kondensor sehingga berubah menjadi cairan kembali. Proses ini melibatkan perpindahan panas yang terjadi pada tabung kondensor. Kondensor berfungsi untuk mentransfer panas dari uap yang panas ke medium pendingin, sehingga uap tersebut mendingin dan berubah menjadi cairan (Pereira et al., 2021). Pada dasarnya, perpindahan panas yang terjadi pada tabung kondensor adalah perpindahan panas secara konveksi. Konveksi adalah salah satu mode perpindahan panas di mana panas ditransfer melalui pergerakan fluida, dalam hal ini adalah medium pendingin yang mengalir di sekitar tabung kondensor. Perpindahan panas yang efektif di kondensor penting untuk menjaga efisiensi proses destilasi dan menghasilkan produk yang diinginkan (Doğan et al., 2021). Dalam penelitian ini, fokus utama adalah pada perpindahan panas yang terjadi pada tabung kondensor. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas perpindahan panas pada kondensor dan mempelajari faktor-faktor yang mempengaruhinya. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang perpindahan panas dalam kondensor, kita dapat meningkatkan desain dan efisiensi proses destilasi serta memaksimalkan produksi hasil yang diinginkan.

Kondensor adalah komponen pendingin yang memiliki peran penting dalam meningkatkan efisiensi mesin pendingin. Kondensor berfungsi untuk mendinginkan uap dan memfasilitasi proses pelepasan kalor melalui kondensasi dan kalor sensible (Yu et al., 2021). Proses kondensasi terjadi ketika uap jenuh berinteraksi dengan permukaan yang memiliki suhu lebih rendah. Dalam proses kondensasi, panas dilepaskan dari sistem dan uap berubah menjadi cairan. Kondensor berperan sebagai penukar panas (heat exchanger) yang memfasilitasi proses kondensasi ini. Dengan memanfaatkan perbedaan suhu antara uap dan permukaan kondensor, panas yang terkandung dalam uap dapat ditransfer ke medium pendingin (J. Li & Hrnjak, 2021a). Kondensor

bertugas mengubah uap panas menjadi cairan dingin dengan cara mentransfer panas yang terkandung dalam uap ke medium pendingin, yang umumnya berupa udara atau air. Proses ini membantu menghilangkan panas berlebih dari sistem dan mendinginkan cairan yang dihasilkan. Sebagai alat penukar panas, kondensor memiliki peran penting dalam memfasilitasi proses kondensasi. Kondensor menyediakan permukaan yang luas untuk berinteraksi dengan uap, sehingga panas dapat ditransfer secara efisien dan uap dapat berubah menjadi cairan. Efektivitas kondensor dalam mendinginkan dan mengkondensasi uap memiliki dampak signifikan terhadap efisiensi keseluruhan sistem pendingin (W. Li et al., 2021).

Kinerja kondensor dipengaruhi oleh berbagai faktor, di antaranya adalah desain kondensor, nilai konduktivitas bahan, kerapatan isolasi pada kondensor, suhu lingkungan operasional, faktor pengotoran (*fouling factor*), jenis fluida pendingin, debit aliran air pendingin, dan arah aliran fluida (Mahvi et al., 2021). Pemilihan desain kondensor memiliki dampak besar terhadap proses kondensasi, karena geometri kondensor berperan penting dalam transfer panas yang terjadi di dalamnya. Nilai konduktivitas bahan pada kondensor juga memberikan pengaruh signifikan terhadap efektivitas transfer panas. Semakin tinggi nilai konduktivitas bahan, semakin baik pula proses transfer panas yang terjadi di dalam kondensor, sehingga efisiensi kondensor meningkat. Selain itu, kerapatan isolasi pada kondensor juga memiliki peran penting. Kerapatan isolasi yang baik pada kondensor dapat membantu mencegah kebocoran panas yang tidak diinginkan dan memastikan bahwa panas yang dihasilkan oleh kondensasi tetap dalam sistem kondensor. Suhu lingkungan operasional juga mempengaruhi kinerja kondensor. Jika suhu lingkungan tinggi, kondensor akan bekerja lebih keras untuk mendinginkan uap dan mentransfer panas, yang dapat mempengaruhi efisiensi keseluruhan kondensor (Zhang et al., 2021). Faktor pengotoran (*fouling factor*) juga harus diperhatikan, karena pengotoran pada permukaan kondensor dapat menghambat transfer panas dan mengurangi efisiensi kondensor. Kebersihan dan perawatan kondensor secara berkala sangat penting untuk menjaga kinerjanya. Selain itu, jenis fluida pendingin, debit aliran air pendingin, dan arah aliran fluida juga memainkan peran dalam kinerja kondensor. Fluida pendingin yang dipilih harus sesuai dengan kebutuhan sistem, debit aliran air pendingin yang tepat harus dipertahankan, dan arah aliran fluida yang baik harus diperhatikan agar kondensor dapat bekerja secara efisien. Dalam keseluruhan, faktor-faktor ini saling berinteraksi dan berkontribusi terhadap kinerja kondensor. Dengan memahami dan mempertimbangkan faktor-faktor ini, kita dapat merancang, memilih, dan mengoperasikan kondensor yang efisien dan optimal dalam aplikasi yang berbeda (J. Li & Hrnjak, 2021b).

Satu masalah yang sering terjadi pada kondensor adalah pengotoran pada jalur pipa air pendingin. Pengotoran ini disebabkan oleh partikel-partikel kotoran yang terbawa oleh air pendingin, sehingga menyebabkan suplai air pendingin pada kondensor terganggu dan dapat menyebabkan kebocoran pada kondensor (Sagar et al., 2021). Keadaan ini pada akhirnya berdampak pada ketidakstabilan performa kondensor dan berkurangnya efisiensi dalam proses perpindahan panas. Untuk mengatasi masalah ini, perawatan kondensor harus dilakukan dengan membersihkan pipa-pipa air pendingin pada kondensor secara berkala. Tujuan dari perawatan ini adalah untuk mencegah terjadinya pengendapan kotoran yang dapat mengganggu laju aliran air pendingin di dalam kondensor. Dengan menjaga kebersihan jalur pipa air pendingin, kondensor dapat berfungsi dengan baik dan transfer panas dapat berlangsung secara efisien. Untuk mengevaluasi kinerja kondensor, digunakan metode perhitungan efektivitas-NTU (Atmaca et al., 2022). Metode ini memperhitungkan efektivitas kondensor berdasarkan nilai efektivitas, laju perpindahan panas, dan tekanan vakum di dalam kondensor. Dengan menggunakan metode ini, kita dapat mengukur sejauh mana kinerja kondensor dalam melakukan transfer panas dan menentukan efisiensi kondensor secara keseluruhan. Pemahaman terhadap kinerja kondensor dan pelaksanaan perawatan yang baik akan membantu menjaga performa kondensor yang optimal, mencegah kebocoran, dan menjaga efisiensi perpindahan panas. Dengan demikian, kondensor dapat beroperasi dengan baik dan memberikan kontribusi yang maksimal dalam sistem perpindahan panas (Alawee et al., 2022).

Bahan komposit laminat memiliki peran yang signifikan dalam meningkatkan efektivitas perpindahan panas pada kondensor dalam proses destilasi daun serai wangi. Kondensor, sebagai komponen kunci dalam sistem destilasi, bertanggung jawab untuk mengkondensasi uap menjadi cairan. Efektivitas kondensor sangat dipengaruhi oleh transfer panas yang efisien. Dalam hal ini,

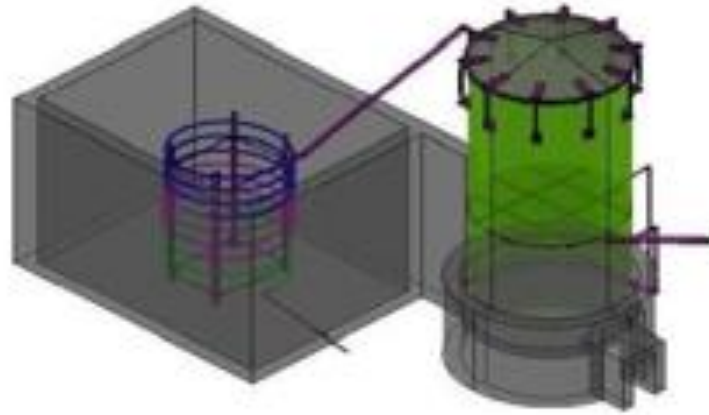
penggunaan bahan komposit laminat sebagai material konstruksi kondensor memberikan keuntungan besar (Wang et al., 2023; Zulfikar et al., 2023). Bahan komposit laminat memiliki struktur yang terdiri dari serat yang tertanam dalam matriks polimer. Keunggulan utama dari bahan komposit laminat adalah kemampuannya untuk menghasilkan konduktivitas termal yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan konvensional. Hal ini memungkinkan perpindahan panas yang lebih efisien dalam kondensor (Alamsyah et al., 2022; Zulfikar, 2020). Selain itu, laminat juga memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, tahan korosi, dan ringan sehingga dapat mengurangi beban struktural pada kondensor (Siregar & Zulfikar, 2022; Zulfikar et al., 2022). Dalam proses destilasi daun serai wangi, bahan komposit laminat pada kondensor berperan penting dalam meningkatkan efisiensi transfer panas. Efektivitas kondensor yang tinggi akan menghasilkan kondensasi yang lebih baik, yang pada gilirannya meningkatkan produksi bio oil dari daun serai wangi (Muzakir et al., 2022; Yuhazri et al., 2020). Dengan menggunakan kondensor yang efisien, proses destilasi dapat berjalan lebih efektif dan hasil akhirnya dapat dioptimalkan. Dengan demikian, penerapan bahan komposit laminat pada kondensor dalam proses destilasi daun serai wangi akan memberikan manfaat signifikan (Amirhafizan et al., 2023). Hal ini meliputi peningkatan efektivitas kondensor, peningkatan produksi bio oil, dan pengurangan konsumsi energi. Dengan memanfaatkan sifat-sifat unik bahan komposit laminat, kondensor dapat menjadi komponen kritis yang mendukung keberhasilan proses destilasi daun serai wangi sebagai sumber energi alternatif yang efisien dan ramah lingkungan (Derlini & Zulfikar, 2022).

Tujuan penelitian ini ialah mengidentifikasi dan menghitung efektivitas kondensor dalam sistem yang diteliti berdasarkan data dan informasi yang diberikan, untuk membandingkan hasil pengujian perpindahan panas pada pipa kondensor dari tiga material yang berbeda, yaitu Stainless Steel, Titanium, dan Aluminium, dan untuk membandingkan efektivitas kondensor yang terjadi akibat penggunaan tiga material tube yang berbeda, yaitu Stainless Steel, Titanium, dan Aluminium.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Desa IV Lau Macem, Kecamatan Pancur Batu, dengan durasi penelitian selama 4 bulan. Tahapan kegiatan dimulai dari persiapan alat dan bahan hingga pengumpulan data penelitian melalui proses destilasi daun serai wangi. Data yang terkumpul mencakup data aktual seperti suhu inlet dan outlet, serta data spesifikasi kondensor yang digunakan dalam penelitian tersebut. Skema proses destilasi diperlihatkan pada gambar 1.

Untuk melakukan perhitungan efektivitas, laju perpindahan panas, dan kondensasi film, penulis memerlukan data-data spesifik yang mencakup aspek teoritis maupun aktual. Data ini diperlukan agar perhitungan yang dilakukan dapat sesuai dan akurat. Dalam hal ini, data yang dibutuhkan mencakup data spesifikasi kondensor, desain kondensor, serta data properties aktual yang terkait dengan kondensor lokal. Spesifikasi desain kondensor yang digunakan dalam penelitian ini adalah spiral heat exchanger. Namun sebelum data tersebut dapat diambil, persiapan yang matang diperlukan untuk merancang proses pengumpulan data yang efektif. Hal ini bertujuan agar data yang terkumpul nantinya dapat memenuhi kebutuhan penelitian dan memberikan informasi yang relevan. Dengan persiapan yang baik, penulis dapat memastikan bahwa data yang diperoleh akan mendukung analisis dan perhitungan yang akan dilakukan dengan akurat dan dapat diandalkan.



Gambar 1. Skema Proses Destilasi



Gambar 2. Bejana destilasi

Peralatan penelitian yang dipergunakan antara lain bejana destilasi, kondensor, dan alat-alat ukur. Bejana destilasi berfungsi sebagai tempat untuk memanaskan dan menguapkan bahan biomasa tersebut. Pada proses destilasi, bahan biomasa dipanaskan dalam bejana destilasi sehingga menghasilkan uap. Uap yang dihasilkan kemudian akan dikondensasikan kembali menjadi cairan dalam kondensor. Bentuk bejana destilasi diperlihatkan pada gambar 2. Spesifikasi bahan alat ini diperlihatkan pada tabel 1. Kondensor bertugas untuk mengubah uap yang terbentuk dari destilasi menjadi cairan yang lebih padat. Ketika uap yang mengandung komponen-komponen volatil dari daun Serai Wangi melewati kondensor, suhu yang lebih rendah pada permukaan kondensor akan menyebabkan uap tersebut mengalami kondensasi. Dalam proses ini, panas yang terkandung dalam uap dilepaskan dan dipindahkan ke media pendingin yang mengalir di sekitar kondensor. Bentuk kondensor diperlihatkan pada gambar 3 dan spesifikasinya diperlihatkan pada tabel 1. Alat-alat ukur yang dipergunakan ialah pressure gauge dan thermometer digital. Pressure gauge digunakan untuk mengukur tekanan dalam sistem konversi biomasa. Dalam proses konversi biomasa, tekanan menjadi parameter penting untuk mengontrol dan memantau kondisi operasional. Thermometer digital digunakan untuk mengukur suhu dalam proses konversi biomasa. Suhu adalah parameter penting yang perlu dipantau dan dikendalikan selama konversi biomasa. Suhu dapat mempengaruhi efisiensi reaksi dan kualitas produk akhir.

Dengan menggunakan thermometer digital, operator dapat memantau suhu di berbagai titik dalam sistem, seperti suhu dalam bejana destilasi, suhu reaktor, atau suhu pada pipa-pipa pemindahan panas. Bentuk alat-alat ukur tersebut diperlihatkan pada gambar 4.



Gambar 3. Kondensor

Tabel 1. Spesifikasi alat kondensor

Komponen	Spesifikasi
Tube Material	Stainless Steel 304
Outside Diameter	38,1 mm
Thickness	2 mm
Length	2200 mm
Flow Rate (Q)	66m ³ /h
Water Inlet Temperature	38,6 °C
Water Outlet Temperature	45,4 °C
Steam Inlet Temperature	100,6 °C
Steam Outlet Temperature	52,2 °C



(a)



(b)

Gambar 4. Alat ukur operasional: (a) pressure gauge, dna (b) thermometer digital

Bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah daun serai wangi seperti diperlihatkan pada gambar 5.



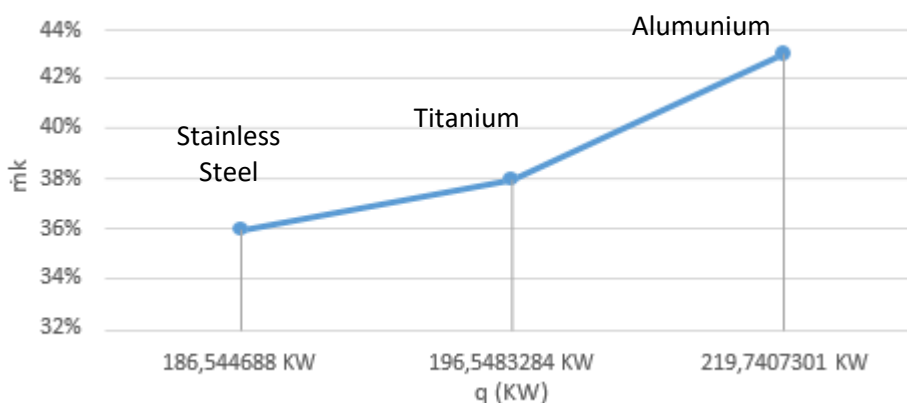
Gambar 5. Daun serai wangi

Prosedur penelitian ini dimulai dengan persiapan alat dan bahan penelitian serta studi pustaka yang mendalam. Selanjutnya, dilakukan pengujian proses destilasi dan pengambilan data hasil uji. Data yang diperoleh kemudian divalidasi untuk memastikan keakuratannya. Jika terdapat data yang tidak memiliki distribusi normal, maka akan dilakukan pengujian ulang hanya pada variasi yang ditolak. Selanjutnya, data-data tersebut dianalisis dengan tujuan untuk mendapatkan jawaban atas tujuan penelitian yang telah ditetapkan. Hasil analisis data tersebut akhirnya disusun dalam bentuk laporan yang kemudian dapat diumumkan melalui publikasi ilmiah. Proses ini memastikan bahwa langkah-langkah penelitian dilakukan secara sistematis dan menyeluruh, serta memungkinkan diseminasi pengetahuan yang didapatkan kepada komunitas ilmiah dan masyarakat luas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari data spesifikasi, diketahui bahwa debit air pendingin adalah $66 \text{ m}^3/\text{jam}$. Saat beroperasi, debit tersebut akan digunakan hingga batas maksimum, sehingga dalam perhitungan diperoleh debit maksimum sebesar $0,018 \text{ m}^3/\text{detik}$. Dengan mengetahui debit pada kondensor, dapat ditentukan laju aliran massa air sebesar $17,839 \text{ kg}/\text{detik}$. Berdasarkan data aktual, diketahui bahwa tekanan kondensor adalah 1 atm , dan dari sifat-sifat air jenuh (Properties of Saturated Water), diperoleh $T_{\text{sat}} = 100^\circ\text{C}$, $h_f = 419,7 \text{ kJ}/\text{kg}$, dan $h_g = 2675,6 \text{ kJ}/\text{kg}$. Dengan menggunakan prinsip kesetimbangan energi, berdasarkan persamaan kesetimbangan, diperoleh laju aliran massa uap yang masuk ke dalam kondensor sebesar $0,224667 \text{ kg}/\text{detik}$. Perbedaan suhu rata-rata logaritmik (LMTD) antara dua fluida yang mengalami perpindahan panas dalam sistem ini, berdasarkan data dari tabel 1, adalah $302,89 \text{ K}$. Perpindahan panas dalam tube adalah $44972,028232 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$, sedangkan perpindahan panas di luar tube adalah $7398,155336 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$. Laju perpindahan panas (q) yang terjadi pada kondensor adalah $186,544688 \text{ kW}$. Perhitungan kondensasi film dilakukan dengan membandingkan laju perpindahan panas dengan entalpi campuran pada kondisi jenuh pada suhu 100°C . Dalam hal ini, kondensasi yang terjadi pada lapisan film adalah $0,082673 \text{ kg}/\text{detik}$. Nilai ini cukup logis jika dibandingkan dengan laju aliran massa uap sebesar $0,224667 \text{ kg}/\text{detik}$ selama proses destilasi. Hal ini mengindikasikan bahwa sekitar 36% massa uap mengalami kondensasi. Dengan demikian, efektivitas kondensor dalam penelitian ini adalah $0,890$.

Dalam penelitian ini juga dilakukan pengujian untuk beberapa bahan yang berbeda, yaitu material stainless steel, titanium dan aluminium. Grafik perbandingan perpindahan panas antara material-material tersebut diperlihatkan pada gambar 6.



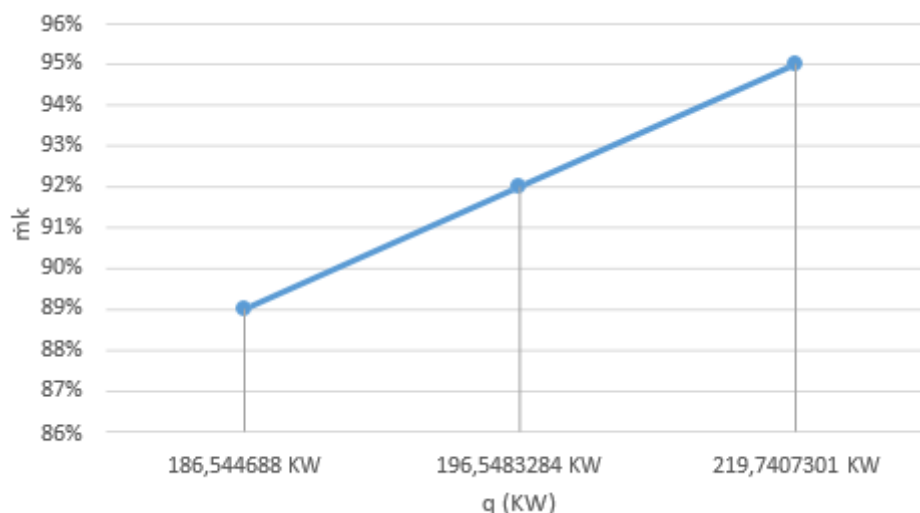
Gambar 6. Perpindahan panas antara material stainless steel, titanium dan aluminium

Berdasarkan gambar 6, dalam pengujian perpindahan panas pada pipa kondensor, dilakukan perbandingan hasil pengujian untuk tiga buah material yang berbeda, yaitu Stainless Steel, Titanium, dan Aluminium. Pada material Stainless Steel, hasil pengujian menunjukkan laju perpindahan panas sebesar $186,544688 \text{ kW}$. Selain itu, uap yang terkondensasi pada kondensor

menggunakan material ini sebesar 36%. Hal ini menunjukkan bahwa Stainless Steel memiliki kemampuan yang baik dalam mentransfer panas, dan sekitar 36% massa uap mengalami kondensasi selama proses perpindahan panas. Untuk material Titanium, hasil pengujian menunjukkan laju perpindahan panas sebesar 196,5483284 kW. Uap yang terkondensasi pada kondensor menggunakan material Titanium mencapai 38%. Dapat disimpulkan bahwa Titanium memiliki kemampuan perpindahan panas yang sedikit lebih baik dibandingkan dengan Stainless Steel, dengan persentase kondensasi yang lebih tinggi. Selanjutnya, pada material Aluminium, hasil pengujian menunjukkan laju perpindahan panas sebesar 219,7407301 kW. Uap yang terkondensasi pada kondensor menggunakan material Aluminium mencapai 43%. Hal ini menandakan bahwa Aluminium memiliki kemampuan perpindahan panas yang paling baik di antara ketiga material yang diuji, dengan persentase kondensasi yang paling tinggi. Dari hasil pengujian ini, dapat disimpulkan bahwa ketiga material yang diuji memiliki kemampuan perpindahan panas yang berbeda. Aluminium memiliki kemampuan yang paling baik dalam mentransfer panas, diikuti oleh Titanium dan Stainless Steel. Persentase kondensasi juga berbeda-beda, dimana Aluminium mencapai 43%, Titanium mencapai 38%, dan Stainless Steel mencapai 36%. Pemilihan material yang tepat dalam pipa kondensor sangat penting untuk memastikan efisiensi dan kinerja yang optimal dalam sistem perpindahan panas.

Dalam penelitian ini juga dihitung nilai efektivitas kondensor terhadap perpindahan panas yang terjadi akibat penerapan material stainless steel, titanium dan aluminium. Hasil pengujian tersebut diperlihatkan pada gambar 7.

Berdasarkan gambar 7, untuk material Stainless Steel, perpindahan panas yang terjadi mencapai 186,544688 kW, dengan efektivitas kondensor sebesar 89%. Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan Stainless Steel dalam tube kondensor mampu mentransfer panas dengan baik, namun terdapat sedikit penurunan efisiensi dalam mentransfer panas dari fluida panas ke fluida dingin. Pada material Titanium, perpindahan panas yang terjadi mencapai 196,5483284 kW, dengan efektivitas kondensor sebesar 92%. Titanium menunjukkan kemampuan yang lebih baik dalam mentransfer panas dibandingkan Stainless Steel, dengan efektivitas yang lebih tinggi, sehingga dapat mencapai efisiensi yang lebih baik dalam perpindahan panas. Untuk material Aluminium, perpindahan panas yang terjadi mencapai 219,7407301 kW, dengan efektivitas kondensor sebesar 95%. Aluminium menunjukkan performa yang sangat baik dalam mentransfer panas, dengan efektivitas yang tertinggi di antara ketiga material yang diuji. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan Aluminium dalam tube kondensor dapat memberikan efisiensi perpindahan panas yang optimal.



Gambar 7. Nilai efektivitas kondensor pada material stainless steel, titanium dan aluminium

SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa efektivitas kondensor dalam penelitian ini adalah sebesar 0,890. Hal ini menunjukkan bahwa kondensor dalam sistem yang diteliti memiliki tingkat efisiensi yang tinggi, dengan sekitar 89% energi panas yang ditransfer dari uap ke air pendingin berhasil dimanfaatkan. Material Aluminium menunjukkan kemampuan perpindahan panas yang paling baik di antara ketiga material yang diuji. Laju perpindahan panas yang terjadi pada pipa kondensor menggunakan Aluminium mencapai 219,7407301 kW, dengan persentase uap yang terkondensasi sebesar 43%. Hal ini menunjukkan bahwa Aluminium memiliki efisiensi tinggi dalam mentransfer panas, sehingga sangat cocok digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan perpindahan panas yang efisien dan cepat. Material Aluminium menunjukkan efektivitas kondensor yang paling tinggi, mencapai 95%. Hal ini menandakan bahwa penggunaan Aluminium dalam tube kondensor dapat memberikan efisiensi perpindahan panas yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Alamsyah, D., Zulfikar, A. J., Yusuf, M., & Siahaan, R. (2022). Optimasi kekuatan tekan beton kolom silinder diperkuat selubung komposit laminat jute dengan metode anova compressive strength optimization of cylindrical column concrete reinforced jute laminated composite wrap with anova method. *Jcebt*, 6(1), 30–36. <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jcebt>
- Alawee, W. H., Abdullah, A. S., Mohammed, S. A., & Majdi, A. (2022). Testing a single slope solar still with copper heating coil, external condenser, and phase change material. *Journal of Energy Storage*, 56(10), 106030.
- Amirhafizan, M., Yuhazri, M., Umarfaruq, H., Lau, S., Kamarul, A., & Zulfikar, A. (2023). Laminated Jute and Glass Fibre Reinforced Composite for Repairing Concrete Through Wrapping Technique. *International Journal of Integrated Engineering*, 15(1), 1–8.
- Atmaca, İ., Şenol, A., & Çağlar, A. (2022). Performance testing and optimization of a split-type air conditioner with evaporatively-cooled condenser. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 32(1), 101064.
- Bin, L., Qinqin, L., Zhiyong, Z., & Sajid, M. (2016). The effect of the inject pressure on the distilled water by vacuum heat pump. *Desalination*, 399(2), 29–33.
- Deivayanai, V. C., Yaashikaa, P. R., Kumar, P. S., & Rangasamy, G. (2022). A comprehensive review on the biological conversion of lignocellulosic biomass into hydrogen: Pretreatment strategy, technology advances and perspectives. *Bioresource Technology*, 365(6), 128166.
- Derlini, D., & Zulfikar, A. J. (2022). Penyelidikan Kegagalan pada Alat Pemisah Karet Alam Jenis LRH 410. *IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA)*, 1(3), 51–61.
- Doğan, B., Ozturk, M. M., Tosun, T., Tosun, M., & Erbay, L. B. (2021). A novel condenser with offset strip fins on a mini channel flat tube for reducing the energy consumption of a household refrigerator. *Journal of Building Engineering*, 44(4), 102932.
- Kumar, P., Subbarao, P. M. V., Close, Kala, L., & Vijay, V. K. (2022). Influence of physical, mechanical, and thermal properties of biomass pellets from agriculture residue: Pearl millet cob and mix. *Bioresource Technology Reports*, 20(2), 101278.
- Li, J., & Hrnjak, P. (2021a). An experimentally validated model for microchannel condensers with separation circuitry. *Applied Thermal Engineering*, 183(1), 116114.
- Li, J., & Hrnjak, P. (2021b). Optimization of a microchannel condenser with separation circuitry. *Applied Thermal Engineering*, 184(1), 116273.
- Li, W., Tu, J., & Liu, Y. (2021). Design and experimental validation of a new condenser of an automotive air conditioning unit to address non-uniform air velocity distributions. *International Journal of Refrigeration*, 131(1), 834–846.
- Lu, Y., Zhang, Y., & Ma, K. (2022). The effect of population density on the suitability of biomass energy development. *Sustainable Cities and Society*, 87(3), 104240.
- Mahvi, A. J., Kunke, T., Crystal, R. V., & Garimella, S. (2021). Enhanced power plant air-cooled condensers using auto-fluttering reeds. *Applied Thermal Engineering*, 193(1), 116956.
- Muzakir, A. T., Zulfikar, A. J., & Siahaan, M. Y. R. (2022). Analisis Kekuatan Tekan Beton Kolom Silinder Diperkuat Komposit Hibrid Laminat Jute E-Glass Epoksi. *JCEBT (Journal of Civil Engineering, Building and Transportation)*, 6(1), 12–19.
- O’Kane, C., Haar, J., Mangematin, V., Daellenbach, U., & Davenport, S. (2021). Distilling and renewing science team search through external engagement. *Research Policy*, 50(6), 104261.

- Pereira, I. P. S., Bagajewicz, M. J., & Costa, A. L. H. (2021). Global optimization of the design of horizontal shell and tube condensers. *Chemical Engineering Science*, 236(3), 116474.
- Sagar, K. R., Desai, A. B., Naik, H. B., & Mehta, H. B. (2021). Experimental investigations on two-turn cryogenic pulsating heat pipe with cylindrical shell-type condenser. *Applied Thermal Engineering*, 196(1), 117240.
- Shi, X., Yao, H., Liang, Z., & Li, X. (2022). An empirical study on fuel consumption of commercial automated vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 106(3), 103253.
- Siddiqui, O., & Dincer, I. (2021). Development and analysis of a new renewable energy-based industrial wastewater treatment system. *Journal of Environmental Management*, 290(3), 112564.
- Siregar, D. A., & Zulfikar, A. J. (2022). Analisis Kekuatan Tekan Selubung Komposit Laminat E-glass pada Beton Kolom Silinder dengan Metode Vacuum Bagging. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 5(1), 20–25.
- Vuppaladadiyam, A. K., Vuppaladadiyam, S. S. V., & Awasthi, A. (2022). Biomass pyrolysis: A review on recent advancements and green hydrogen production. *Bioresource Technology*, 364(3), 128087.
- Wang, D., Zhang, C., Zulfikar, A. J., Mehrez, S., Huynen, I., Mahariq, I., & Elbadawy, I. (2023). Tuning layer thickness and layer arrangement in a GdMnO₃ and GdMnO₃-MoSe₂ bi-layer absorber to cover the S, C, and X band frequency range. *Surfaces and Interfaces*, 36(1), 102507.
- Yu, J., Nguyen, T. T. T., Pawar, A., & Jr., P. C. W. (2021). The effect of condenser temperature on the performance of the evaporator in a wickless heat pipe performance. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 176(5), 121484.
- Yuhazri, M. Y., Zulfikar, A. J., & Ginting, A. (2020). Fiber Reinforced Polymer Composite as a Strengthening of Concrete Structures: A Review. *Materials Science and Engineering*, 1–12. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1003/1/012135>
- Zhang, P., Dong, W., Wang, L., & Sun, W. (2021). Failure analysis of micro-channel condenser of air source heat pump water heater. *Engineering Failure Analysis*, 122(1), 105250.
- Zulfikar, A. J. (2020). The Flexural Strength of Artificial Laminate Composite Boards made from Banana Stems. *Budapest International Research in Exact Sciences (BirEx) Journal*, 2(3), 334–340.
- Zulfikar, A. J., Ritonga, D. A. A., Pranoto, S., Nasution, F. A. K., Arif, Z., & Junaidi, J. (2023). Analisis Kekuatan Mekanik Komposit Polimer Diperkuat Serbuk Kulit Kerang. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 6(1), 30–40.
- Zulfikar, A. J., Siahaan, M. Y. R., Irwan, A., Nasution, F. A. K., & Ritonga, D. A. A. (2022). Analisis Kekuatan Mekanik Pipa Air dari Bahan Komposit Serbuk Kulit Kerang. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 5(2), 83–93.