



## **Analisis Perpindahan Panas pada Kondensor dengan Metode LMTD pada Proses Pirolisis Ampas Kelapa**

### ***Analysis of Heat Transfer in the Condensor with the LMTD Method in the Coconut Dregs Pyrolysis Process***

Denny Fachri Mariadi<sup>1</sup>, Muhammad Idris<sup>1\*</sup>, Iswandi<sup>1</sup>, Syafruddin Ritonga<sup>1</sup>, Uun Novalia Harahap<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universitas Medan Area, Indonesia

<sup>2</sup> Universitas Harapan Medan, Indonesia

Diterima: 23-10-2021

Disetujui: 06-04-2022

Dipublikasikan: 30-05-2022

\*Corresponding author: [muhhammad\\_idris@staff.uma.ac.id](mailto:muhhammad_idris@staff.uma.ac.id)

---

#### **Abstrak**

Pirolisis merupakan proses dekomposisi kimia bahan organik melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen atau reagen lainnya, dimana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas. Pirolisis dilakukan di sebuah reaktor dengan pengurangan atmosfer (hampa udara) pada temperatur hingga 8000 C. Konversi biomasa menjadi bahan bakar terdiri dari 2 cara Biochemical dan Thermochemical. Pada penelitian ini penulis akan mengkonversi biomasa (ampas kelapa) dengan cara pirolisis. Tujuan penelitian ini dilakukan untuk menganalisis laju perpindahan panas pada kondensor dengan menggunakan metode LMTD log mean temperature different. Bahan yang di uji pada penelitian ini adalah sisa ampas kelapa dari industri pmerasan santan kelapa yang banyak terbuang sia-sia. Bahan yang telah di dapatkan kemudian di pirolisis di reaktor pirolisis. Dari hasil pengujian dapat di ketahui bawah analisis perpindahan panas dengan metode log mean temperature different aliran berlawanan arah lebih efektif di gunakan dibandingkan dengan aliran searah, efektifitas kondensor sebesar 97,9% pada aliran berlawanan arah dan pada aliran searah sebesar 88,8%. Nilai kondensasi film di dapat sebesar 9,8% Pada aliran berlawanan arah dan 3,2% pada aliran searah yang merupakan hasil luaran biooil.

**Kata Kunci:** Kondensor, Laju Perpindahan Panas, Ampas Kelapa

#### **Abstract**

*Pyrolysis is a process of chemical decomposition of organic matter through a heating process without or little oxygen or other reagents, where the raw material will undergo a chemical structure decomposition into a gas phase. Pyrolysis is carried out in a reactor with a reduced atmosphere (vacuum) at a temperature of up to 8000 C. Conversion of biomass into fuel consists of 2 ways Biochemical and Thermochemical. In this study the author will convert biomass by means of pyrolysis. The purpose of this study was to analyze the heat rate in the condenser using the log LMTD method of the average temperature difference. The material tested in this study is the remaining coconut pulp from the coconut milk processing industry which is wasted a lot. The material that has been obtained is then pyrolyzed in a pyrolysis reactor. From the test results, it can be seen that the following heat transfer analysis uses the log mean temperature method, the difference in countercurrent flow is more effective than direct flow, the effectiveness of the condenser on countercurrent flow is 97.9% and 88.8% flow. The condensation value of the film is 9.8% in the reverse direction and 3.2% in the flow which is the output of the biooil.*

**Keywords:** Condenser, Heat Transfer Rate, Coconut Dregs

**How to Cite:** Mariadi, D.F. 2022. Analisis Perpindahan Panas pada Kondensor dengan Metode LMTD pada Proses Pirolisis Ampas Kelapa, JMEMME (Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy), 6 (01): 117-129.

---

## PENDAHULUAN

Krisis bahan bakar fosil yang terjadi di Indonesia telah memaksa Indonesia untuk melakukan impor bahan bakar dalam bentuk minyak mentah [1]. Dampak dari kebijakan tersebut, pada tahun 2015 Indonesia mengalami defisit anggaran Rp. 2.1 triliun untuk menanggung hal tersebut. Dalam aspek lain, bahwa penggunaan bahan bakar fosil telah memburukkan emisi gas buang (CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> dll) sebagai dampak negatifnya [2]. Untuk mereduksi *issue* tersebut dilakukan upaya penggunaan energi alternatif ramah lingkungan. Dari sejumlah energi alternatif tersebut yaitu energy biomassa, karena dari total potensinya hanya 5,4% yang telah memberikan kontribusi bagi energi nasional [3], [4], [5].

Konversi biomasa menjadi bahan bakar terdiri dari 2 cara biochemical dan thermochemical. biochemical di gunakan untuk mengkonversi bahan biomasa yang mudah membusuk sedangkan thermochemical adalah mengkonversi bahan bakar biomasa yang solid atau keras [6]. Penelitian ini membahas tentang konversi biomassa secara thermochemical, dimana biomassa yang dipergunakan adalah limbah ampas kelapa menjadi bio-oil [7], [8]. Pirolisis dilakukan di sebuah reactor dengan pengurangan atmosfer pada temperatur hingga 800°C [9]. Dalam penelitian ini metode pirolisis yang dipergunakan adalah pirolisis lambat dan rendah temperature.

Pirolisis biomassa menghasilkan tiga jenis luaran yaitu bioarang, biogas dan cair (bio-oil). Dimana pada proses penguraian biomassa dalam memproduksi bio-oil, uap dikondensasi pada tabung kondesor dengan pendinginan fluida air. Kondensasi merupakan proses pengembunan/ perubahan uap menjadi cair. Dalam proses kondensasi terjadi perpindahan panas antara uap yang dihasilkan dari penguraian biomassa dengan fluida pendingin. Penulis berasumsi bahwa derajat efektivitas perpindahan panas pada tabung kondesor mempengaruhi luaran kondensasi. Sehingga penulis perlu menganalisis efektivitas perpindahan panas tersebut. Untuk menganalisis hal tersebut dipergunakan metode *log mean temperature differential* (LMTD) [10], [11], yang dapat dihitung dengan persamaan (1).

$$\Delta T_m = \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{\ln \frac{(T_{hi} - T_{co})}{(T_{ho} - T_{ci})}}$$
$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left( \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} \dots \dots \dots (1)$$

Kondensor merupakan komponen pendingin yang sangat penting yang berfungsi untuk memaksimalkan efisiensi pada mesin pendingin. Pada kondensor ini terjadi

pelepasan kalor secara kondensasi dan kalor sensible [3], [12], [13]. Kondensor merupakan salah alat penukar kalor (heat exchanger) merupakan alat yang digunakan untuk proses berpindahnya suatu panas dari suatu daerah tertentu ke daerah lainnya [14], [15]. Secara umum perpindahan kalor terjadi pada tiga media, yaitu:

- a. Perpindahan kalor konduksi. Proses berpindahnya energy (kalor) mengalir dari suatu daerah bersuhu tinggi terhadap suatu daerah bersuhu rendah.
- b. Perpindahan kalor konveksi Proses berpindahnya energy (kalor) dengan kerja secara gabungan dari aliran mencampur, penyimpanan energy, dan konduksi kalor.
- c. Perpindahan kalor radiasi Proses berpindahnya energy (kalor) dari suatu daerah bersuhu tinggi ke daerah bersuhu rendah terhadap ruang hampa sekalipun Teori perhitungan alat penukar kalor.

Laju aliran massa air pendingin dapat dihitung dengan persamaan (2).

$$\dot{m} = \rho \times V \times A \dots\dots\dots (2)$$

Perpindahan panas di dalam tube dapat diketahui dengan cara menentukan bilangan Reynold melalui persamaan (3), bilangan nussel melalui persamaan (4), bilangan koefisien konveksi pada aliran di dalam *tube* dan di luar *tube* dengan persamaan (5), koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) pada persamaan (6), luas permukaan perpindahan panas pada *tube* ; persamaan (7), laju perpindahan panas; q pada persamaan (9), massa uap yang terkondensasi pada persamaan (8), total efektivitas perpindahan panas dengan metode LMTD dengan persamaan (9) dan untuk menentukan kestimbangan energi dicari dengan persamaan (10) dan (11).

$$Re = \frac{4 \times \dot{m}c}{\pi \times D_i \times \mu f} \dots\dots\dots (3)$$

$$Nu_D = 0.23 Re_D^{0.4} Pr^n \dots\dots\dots (4)$$

$$h = \frac{Nu_D \times K_f}{D} \left( \frac{W}{m^2} \cdot K \right) \dots\dots\dots (5)$$

$$Ja = \frac{C_{prf} \times (T_{sat} - T_s)}{h_{fg}} \dots\dots\dots (5.a)$$

$$h'_{fg} = h_{fg} (1 + 0.68 Ja) \dots\dots\dots (5.b)$$

$$Nu_{UD} = 0,729 \times \left[ \frac{g \times \rho_l \times (p_l - p_v) \times D_o^3 \times h'_{fg}}{K_l \times \mu_l \times (T_{sat} - T_s)} \right]^{\frac{1}{4}} \dots\dots\dots (5.c)$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{H_o} + R_{fo} + \frac{r_o}{k} \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + R_{fi} + \left(\frac{r_o}{r_i}\right) \frac{1}{h_i}}$$

$$\frac{1}{2919,78 \frac{W}{m^2.K} + 0,0001 \frac{m^2.K}{W} + \frac{0,0075 m}{14,9 \frac{W}{m.K}} \times \ln\left(\frac{0,0075 m}{0,0065 m}\right) + 0,0001 + \frac{0,0075}{00065} \times \frac{1}{1511,89}} \left(\frac{W}{m^2.K}\right) \quad (6)$$

$$A = \pi \times D_o \times L \quad (7)$$

$$q = U \times A \times \Delta T_{LM} \quad (8)$$

$$\dot{m} = \frac{q}{h_{fg}} \quad (9)$$

$$\sum LMTD = \frac{Q}{Q_{max}} \quad (10)$$

$$Q = (m_h \cdot C_{p_{max}}) T_{hout_{max}} \quad (10.a)$$

$$Q_{hot} = q_{cold} \quad (11)$$

$$\dot{m}_h (h_g - h_f) = \dot{m}_c C_{pf} (T_{c_{out}} - T_{c_{in}}) \quad (11.a)$$

Jumlah luaran kondensat sangat dipengaruhi dengan efektivitas kondensor. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas perpindahan panas pada kondensor dengan metode LMTD.

## METODE PENELITIAN

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan di Workshop bersama di desa punden rejo dusun 4 kecamatan tanjung morawa. Penelitian ini melibatkan 2 fluida, fluida uap yang di hasilkan dari peroses destilasi dan fluida air sebagai pendingin kondensasi yang di sirkulasikan pada tabung kondensor [16], [17]. Data diperoleh dari pengukuran langsung yang dilakukan saat proses berlangsung yang mencakup temperature inlet dan outlet dan data spesifikasi kondensor (tabel 1). Untuk menentukan nilai efektivitas perpindahan panas dengan metode LMTD, dihitung berdasarkan persamaan (1), laju perpindahan panas, dan kondensasi filem persamaan (2).

Penulis membutuhkan data-data tertentu baik secara teoritis maupun actual. Sehingga mampu menghasilkan perhitungan dan analisis yang akurat. Data yang di ambil adala data actual selama peroses pirolisis ampas kelapa pada aliran searah dan aliran berlawanan arah. Dengan spesifikasi kondensor adalah spiral heat exchanger [18], [19][20]. Akan tetapi sebelum data itu diambil di perlukan persiapan terlebih dahulu untuk merancang suatu pengumpulan data.

Tabel 1. Spesifikasi kondensor

Design Spesification	
Material tabung kondesor	Stainless Steel AISI 304
<i>Inside Diameter (Do)</i>	13
<i>Thickness (x10<sup>-3</sup> m)</i>	1
<i>Length (x10<sup>-3</sup> m)</i>	300

Peralatan yang digunakan dalam kegiatan penelitian ini antara lain: Kondensor, Pompa aquarium, dan alat ukur yang terdiri dari (a) *Digital temperature* (gambar 1), diposisikan untuk mengukur temperatur uap masuk dan fluida pendingin (*outlet dan inlet*) dan mengukur temperature uap pada bejana pirolisis dan (b) Stopwatch: mengontrol waktu proses kondensasi (gambar 2).



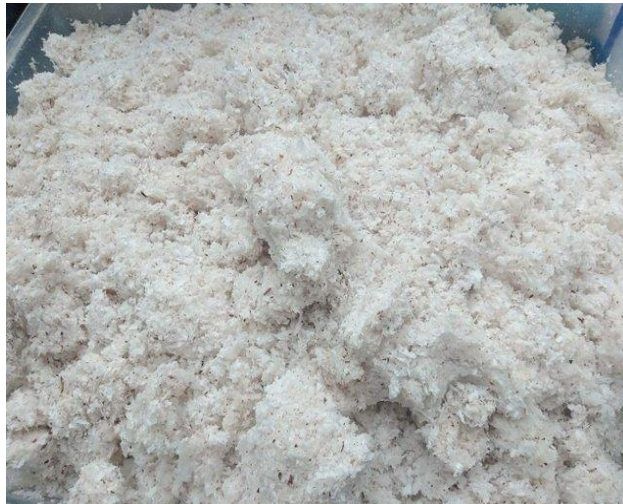
Gambar 1. *Digital thermocouple*



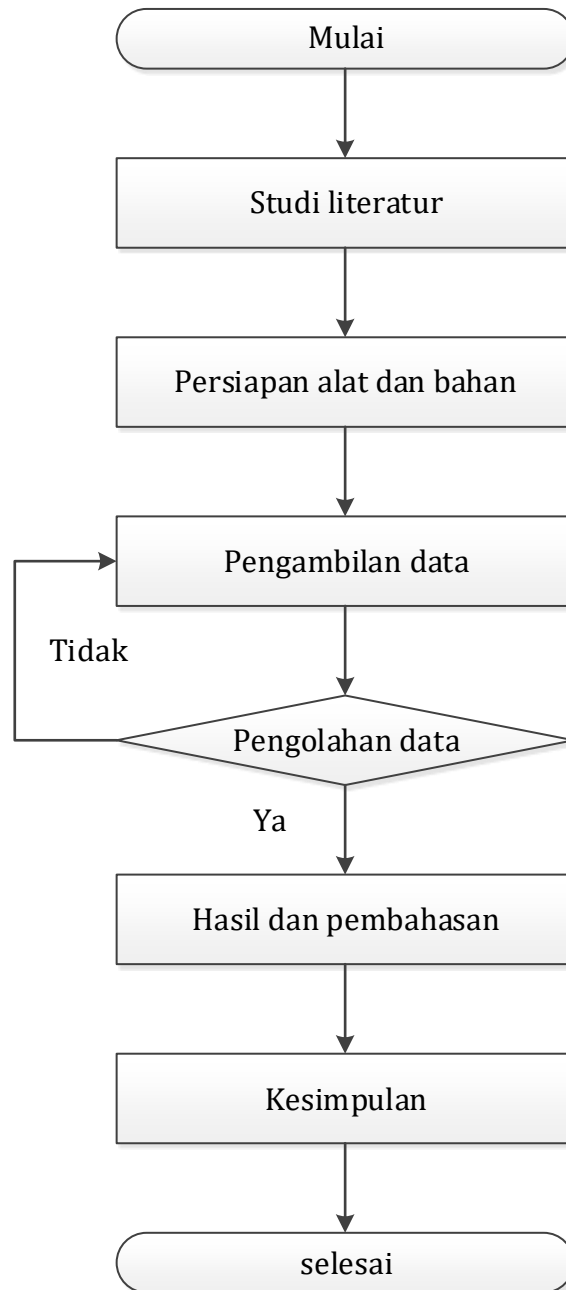
Gambar 2. Stopwatch

## Denny Fachri Mariadi, Analisis Perpindahan Panas pada Kondensor dengan ...

Bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini ialah ampas kelapa (gambar 3), dipergunakan sebagai *raw material* yang akan diproses dengan metode pirolisis. Ampas kelapa ini diproreh dari limbah rumah tangga. Sebagaimana yang telah dikabarkan oleh para peneliti, bahwa setiap biomassa mengandung 3 komponen; *cellulose*, *hemicellulose* dan *lignin*. Alir penelitian sepertiyang diperlihatkan pada gambar 4 sebagai berikut; mulai, melakukan studi literatur yang bersumber dari buku-buku teks dan artikel ilmiah terpublikasi, mempersiapkan peraalatan dan bahan baku pembuat bio-oil, pengambilan data dari variable yang diamati dan diukur, pengolahan data dan interpretasi data; merupakan Langkah keputusan, apabila berhasil maka lanjut pada tahap hasil dan pembahasan, namun jika gagal, Kembali mengulai pada pengambilan data. Langkah selanjutnya adalah hasil dan pembahasan serta ditutup dengan kesimpulan.



Gambar 3. Ampas kelapa



Gambar 4. Diagram alir penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran temperature fluida dengan metode berlawanan arah pada proses pirolisis dilakukan selama 1 jam table 2 dan table 3 dengan metode aliran searah. Table 4 merupakan karakteristik fluida air pendingin. Proses ini dilakukan untuk mengamati dan mengukur temperature fluida pada proses kondensasi, dimana  $T_{c\ in}$  dan  $T_{c\ out}$  merupakan fluidan air pendingin masuk ke dalam dan keluar tabung kondensor,  $T_{h\ in}$  dan  $T_{h\ out}$  merupakan fluida uap yang dibangkitkan oleh pirolisis selama proses berlangsung.

Tabel 2. Data pengukuran temperature dengan metode aliran berlawanan arah

Waktu (s)	T <sub>c</sub> in (°C)	T <sub>c</sub> out (°C)	T <sub>h</sub> in (°C)	T <sub>h</sub> out (°C)
600.0	32.0	35.0	90.0	65.0
900.0	36.0	40.0	97.0	70.0
1200.0	38.0	41.0	98.0	76.0
1500.0	40.5	43.0	100.8	81.0
1800.0	42.0	46.0	102.4	85.0
2100.0	45.0	49.4	103.5	88.0
2400.0	48.3	51.7	105.8	94.0
2700.0	50.0	54.0	109.0	99.0
3000.0	53.0	65.0	113.0	105.0
3300.0	58.0	70.0	118.0	112.0
3600.0	63.0	74.0	125.0	115.0

Tabel 3. Data pengukuran temperature dengan metode aliran searah

Waktu (s)	T <sub>c</sub> in (°C)	T <sub>c</sub> out (°C)	T <sub>h</sub> in (°C)	T <sub>h</sub> out (°C)
600.0	28.0	33.0	82.4	44.6
900.0	31.4	36.3	94.9	45.9
1200.0	34.2	39.5	98.9	51.7
1500.0	36.4	42.1	100.2	55.0
1800.0	38.8	44.4	103.7	58.6
2100.0	40.6	45.0	106.4	62.0
2400.0	41.6	45.5	108.5	65.0
2700.0	43.1	47.0	112.0	69.0
3000.0	44.5	48.8	114.9	73.0
3300.0	45.9	50.1	117.5	77.0
3600.0	48.0	51.0	120.0	80.0

Tabel 4. Karakteristik air pendingin

Parameter	Nilai
Debit air pendingin (m <sup>3</sup> /s)	0.00014
Laju aliran massa pendingin (kg/s)	0.13950
$\rho_f$ (kg/m <sup>3</sup> )	966.184
$\mu_f$ (N.s/m <sup>2</sup> )	0.00031
$k_f$ (W/m. K)	0.658
$C_{p_f}$ (kJ/kg. K)	4.178
$h_f$ (kJ/kg) pada temperature 90 °C	2282.50
$h_g$ (kJ/kg) pada temperature 90 °C	337.04
Laju aliran massa pendingin $m_h$ (kg/s)	0.01964

Untuk menghitung koefisien perpindahan panas konveksi di dalam *tube*, ada beberapa parameter yang memiliki pengaruh yang harus ditentukan terlebih dahulu. Tabel 5 merupakan parameter yang memengaruhi perpindahan panas di dalam tube. Dan parameter yang mempengaruhi koefisien perpindahan panas konveksi di luar *tube* dan hasil efektivitas perpindahan panas terdapat pada Tabel 6. Dengan cara yang sama seperti



pada table 6, maka efektivitas perpindahan panas pada proses pirolisis diperoleh pada table 7 untuk aliran berlawanan dan table 8 untuk aliran searah.

Tabel 5 Parameter perpindahan panas konveksi di dalam tabung

Parameter	Nilai	Keterangan
Reynol number - Re	4884.83	Persamaan 4
Bilangan nusselt - NuD	29.12	Persamaan 5
Koefisien konveksi dalam tube - h (w/m <sup>2</sup> . K)	1511.89	Persamaan 6

Tabel 6. Parameter dan hasil efektivitas perpindahan panas

Parameter	Nilai	Keterangan
Jacob number - Je	0.11	Persamaan 6.a
h'fg (kJ/kg)	2411.72	Persamaan 6.b
Bilangan nusselt - NuD	70.64	Persamaan 6.c
Koefisien konveksi dalam tube - h (W/m <sup>2</sup> . K)	2919.78	Persamaan 6
Overall heat transfer coefficient - U (W/m <sup>2</sup> . K)	725.84	Persamaan 7
Area perpindahan panas - A (m <sup>2</sup> )	0.014	Persamaan 8
Laju perpindahan panas - q (W)	3244.71	Persamaan 9
massa uap terkondensasi (kg/s)	0.003	Persamaan 10
Efektivitas perpindahan panas %	92.70	Persamaan 11

Tabel 7. Efektivitas perpindahan panas metode aliran berlawanan

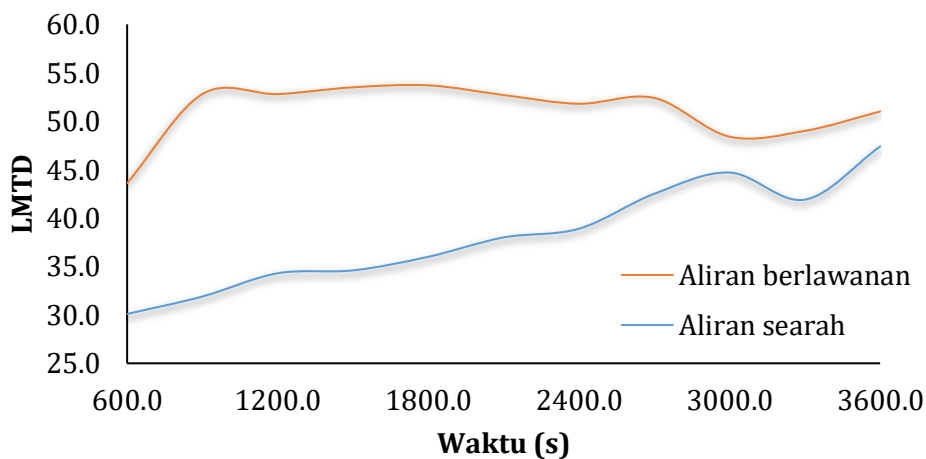
Waktu (s)	LMTD	ΣLMTD	m (kg/s)
600.0	43.6	92.7	3.E-03
900.0	52.8	96.4	2.E-03
1200.0	52.8	96.7	2.E-03
1500.0	53.5	97.0	3.E-03
1800.0	53.7	97.2	3.E-03
2100.0	52.7	97.9	3.E-03
2400.0	51.8	97.6	3.E-02
2700.0	52.4	97.3	3.E-03
3000.0	48.4	96.8	3.E-03
3300.0	49.0	96.2	3.E-03
3600.0	51.0	54.0	3.E-03

Tabel 8. Efektivitas perpindahan panas metode aliran searah

Waktu (s)	LMTD	ΣLMTD	m (kg/s)
600.0	30.1	88.9	2.E-03
900.0	31.9	86.1	2.E-03
1200.0	34.3	86.5	2.E-03
1500.0	34.6	87.2	2.E-03
1800.0	36.0	87.2	2.E-03
2100.0	38.0	87.4	2.E-03
2400.0	38.9	87.7	2.E-03
2700.0	42.5	87.7	3.E-03
3000.0	44.7	88.3	3.E-03
3300.0	41.9	87.7	3.E-03
3600.0	47.4	88.8	3.E-03

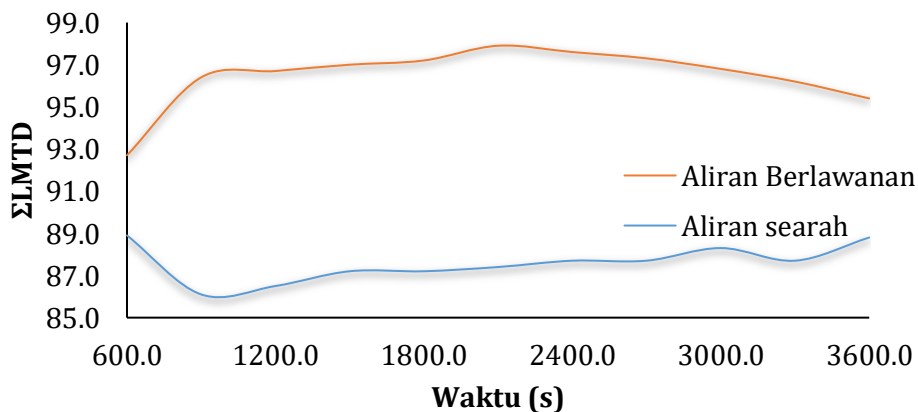
Gambar 5 menunjukkan komparasi log mean temperature difrent LMTD pada kondensor alat pirolisis ampas kelapa dengan 2 metode aliran yaitu. Aliran searah dan

aliran berlawanan arah, dimana dari gambar tersebut dapat di ketahui bahwa nilai log mean temperature difrent LMTD aliran berlawanan arah lebih baik di bandingkan dengan aliran searah. Hal ini terjadi karena jumlah partikel fluida yang bersentuhan dengan dinding kondesor lebih lama disbanding dengan metode aliran searah, investigasi ini telah banyak dilakukan oleh peneliti seblumnya [21], [22].



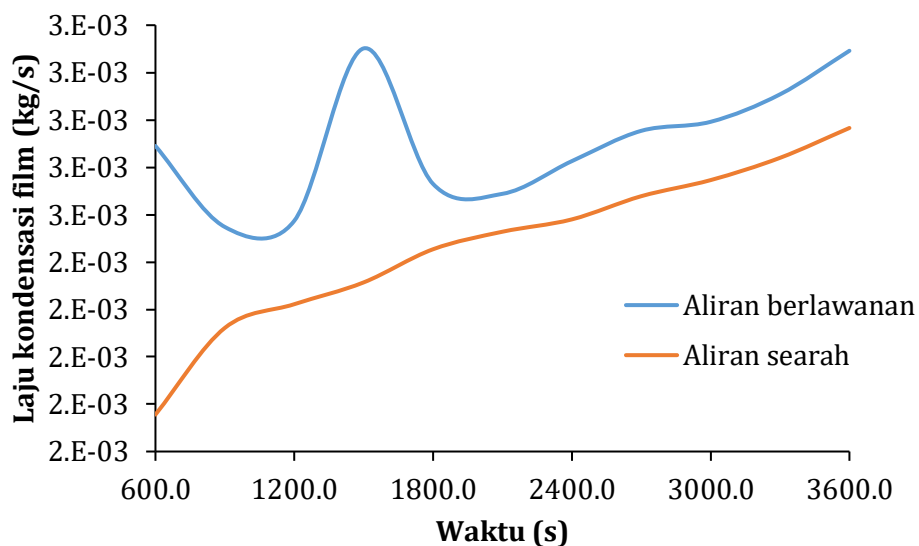
Gambar 5. Komparasi LMTD pada aliran berlawanan dan aliran searah

Gambar 6 menunjukkan efektivitas kondensor alat pirolisis ampas kelapa dengan bahan stainless steel. Aliran serah dan aliran berlawnan arah. Dapat di ketahui nilai efisiensi aliran berlawanan arah tertinggi sebesar 97,9% pada sedangkan efisiensi tertinggi aliran searah sebesar 88,9%.



Gambar 6. Komparasi efektivitas perpindahan panas aliran berlawanan dan aliran searah

Dimana dari gambar 7 di bawah penulis dapat mengetahui bahwasanya nilai kondensasi film aliran berlawanan arah lebih besar di bandingkan dengan aliran searah.



Gambar 7. Komparasi laju arilan massa kondensasi aliran berlawanan dan aliran searah

## KESIMPULAN

Pengujian kondensor pirolisis ampas kelapa telah selesai dilakukan analisis, sehingga diperoleh kesimpulan sebagai berikut: (1) Analisis perpindahan panas dengan metode LMTD log mean temperature different pada aliran berlawanan arah lebih baik di bandingkan dengan aliran searah. Dikarnakan nilai perbedaan temperature rata rata aliran berlawanan arah lebih efektif. (2) Efektivitas kondensor aliran berlawanan arah sebesar 97,9% sedangkan aliran berlawanan arah 88,8%. Maka bapat di ambil kesimpulan bawah aliran air pendingin pada kondensor dengan jenis aliran berlawanan arah lebih efisien di gunakan. (3) Kondensasi filem (massa uap kondensat) yang di hasilkan pada berlawanan arah jauh lebih maksimal di bandingkan dengan aliran searah dengan nilai laju aliran masa uap terkondensasi dengan nilai  $0,002683 = 9,8\%$  pada aliran searah dan  $0,002851 = 3,2\%$  pada aliran berlawanan arah. Perhitungan log mean temperature defferential LMTD laju perpindahan panas dan efektivitas kondensor ini belum sepenuhnya sempurna. Hal ini disebabkan masih banyak parameter-parameter yang tidak dibahas dalam analisis ini, seperti factor plugging, pressure drop, beberapa

zona dalam kondensor dan yang lainnya. Untuk mendapatkan data yang konstan sebaiknya pada kondensor di lengkapi dengan alat ukur yang terakusisi sehingga data yang diperoleh dapat dicatat dengan baik

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, Riset dan Teknologi yang telah memberikan hibah Program Kompetisi Kampus Merdeka (PKKM) dalam bentuk bantuan/insentif publikasi jurnal. Dan berterimakasih kepada semua pihak yang terlibat meberikan kontribusi pad penelitian dan publikasi hingga selesai.

## REFERENSI

- [1] S. Khan *et al.*, "Biodiesel Production From Algae to Overcome the Energy Crisis," *HAYATI J. Biosci.*, vol. 24, no. 4, pp. 163–167, 2017, doi: 10.1016/j.hjb.2017.10.003.
- [2] L. Yildiz, *Fossil Fuels*, vol. 1–5, 2018.
- [3] R. G. Newell, Y. Qian, and D. Raimi, "Global Energy Outlook 2015," *Natl. Bur. Econ. Res.*, 2016.
- [4] M. Idris and U. Novalia, "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.
- [5] A. J. Zulfikar, "The Flexural Strength of Artificial Laminate Composite Boards made from Banana Stems," *Budapest Int. Res. Exact Sci. J.*, vol. 2, no. 3, pp. 334–340, 2020.
- [6] L. M. Terry *et al.*, *Bio-oil production from pyrolysis of oil palm biomass and the upgrading technologies : A review*. The Authors, 2021.
- [7] H. H. Homma, H. H. Homma, and M. Idris, "Numerical Analysis on Wood Pyrolysis in Pre-Vacuum Chamber," *J. Sustain. Bioenergy Syst.*, vol. 04, no. 03, pp. 149–160, 2014, doi: 10.4236/jsbs.2014.43014.
- [8] M. Y. Yuhazri, A. J. Zulfikar, and A. Ginting, "Fiber Reinforced Polymer Composite as a Strengthening of Concrete Structures: A Review," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1003, no. 1, pp. 1–12, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/1003/1/012135.
- [9] P. Basu, *Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction: Practical Design and Theory*. 2013.
- [10] F. P. Incropera and D. P. Dewitt, *Fundamental of Heat and Mass Transfer seventh Edition*, Seventh. New York: JOHN WILEY & SONS, 2002.
- [11] A. J. Zulfikar and M. Y. R. Siahaan, "Analisis Signifikansi Roda Skateboard Berbahan Komposit Serbuk Batang Pisang Terhadap Perfoma Kecepatan Dengan Metode Anova," *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 4, no. 2, pp. 83–90, 2021, [Online]. Available: <http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME/article/view/8068>.
- [12] A. T. Muzakir, A. J. Zulfikar, and M. Y. R. Siahaan, "Analisis Kekuatan Tekan Beton Kolom Silinder Diperkuat Komposit Hibrid Laminat Jute E-Glass Epoksi," *JCEBT (Journal Civ. Eng. Build. Transp.)*, vol. 6, no. 1, pp. 12–19, 2022.
- [13] D. Alamsyah, A. J. Zulfikar, and M. Y. R. Siahaan, "Optimasi Kekuatan Tekan Beton Kolom Silinder Diperkuat Selubung Komposit Laminat Jute Dengan Metode Anova," *JCEBT (Journal Civ. Eng. Build. Transp.)*, vol. 6, no. 1, pp. 30–36, 2022.
- [14] R. Walikrom, A. Muin, and Hermanto, "Studi Kinerja Plate Heat Exchanger Pada Sistem Pendingin Pltgu," *J. Tek. Mesin*, vol. 1, no. 1, pp. 2621–3354, 2018.
- [15] M. NITSCHKE and R. O. GBADAMOSI, *HEAT EXCHANGER DESIGN GUIDE A Practical Guide for Planning, Selecting and Designing of Shell and Tube Exchangers*. The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford OX5 1GB, UK: Typeset by TNQ Books and Journals, 2016.

- [16] M. I. Hutasuhut, "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.
- [17] N. Hidayat, A. J. Zulfikar, and M. Y. R. Siahaan, "Analisis Kekuatan Tekan Struktur Beton Kolom Silinder Diperkuat Komposit Laminat Hibrid Jute E-glass Epoksi Eksperimental dan ANOVA," *JCEBT (Journal Civ. Eng. Build. Transp.)*, vol. 6, no. 1, pp. 37-44, 2022.
- [18] J. Khorshidi and S. Heidari, "Design and Construction of a Spiral Heat Exchanger," *Adv. Chem. Eng. Sci.*, vol. 06, no. 02, pp. 201-208, 2016, doi: 10.4236/aces.2016.62021.
- [19] V. Ganapathy, *Steam generators and waste heat boilers: For process and plant engineers*. 2014.
- [20] K. S. N. and Raju, *Fluid Mechanics, Heat Transfer and mass Transfer chemical engineering Practice*. Ajon Wiley & Sons, Inc., Publication, 2546.
- [21] M. I. Hasan, A. M. A. R. Rageb, and M. Yaghoubi, "Investigation of a Counter Flow Microchannel Heat Exchanger Performance with Using Nanofluid as a Coolant," *J. Electron. Cool. Therm. Control*, vol. 02, no. 03, pp. 35-43, 2012, doi: 10.4236/jectc.2012.23004.
- [22] W.-K. Lin, K. C. Liaw, M.-Z. Tsai, and M.-G. Chu, "Heat Transport Study of the Laminar Heat Pipe Heat Exchanger," *Smart Grid Renew. Energy*, vol. 03, no. 04, pp. 348-354, 2012, doi: 10.4236/sgre.2012.34046.