

# Analisis Perubahan Tekanan Vakum Kondensator Terhadap Laju Perpindahan Panas dan Efektivitas Kondensator PLTU Suralaya Unit 6

<sup>1</sup>Teddy Ardiansyah, <sup>2</sup>Jodi Imansyah

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Mesin, Institut Sains dan Teknologi Nasional  
Jl. Moch Kahfi II, Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640, Indonesia  
Email: [teddy@istn.ac.id](mailto:teddy@istn.ac.id), [jodi.imansyah@gmail.com](mailto:jodi.imansyah@gmail.com)

## Abstrak

Penelitian ini menganalisis dampak perubahan tekanan vakum kondensator terhadap laju perpindahan panas dan efektivitas kondensator di PLTU Unit 6 Suralaya. Metode yang digunakan mencakup perhitungan *Log Mean Temperature Difference* (LMTD) untuk menentukan laju perpindahan panas dan metode NTU untuk mengukur efektivitas kondensator. Selama periode penelitian dari 10 Mei 2024 hingga 16 Mei 2024, dengan pengukuran dilakukan antara pukul 00:00 hingga 23:00, ditemukan bahwa nilai tertinggi tercatat pada pukul 15:00. Pada saat itu, tekanan vakum kondensator mencapai 697,29 mmHg, dengan laju perpindahan panas sebesar 261.888,14 kW, LMTD sebesar 6,551°C, dan efektivitas kondensator 86,09%. Sebaliknya, nilai terendah tercatat pada pukul 07:00, dengan tekanan vakum kondensator sebesar 696,81 mmHg, laju perpindahan panas 113.457,6 kW, LMTD 2,843°C, dan efektivitas 85,60%. Setiap kenaikan tekanan vakum kondensator sebesar 0,1% dihubungkan dengan peningkatan LMTD, laju perpindahan panas, dan efektivitas masing-masing sebesar sekitar 95%, 0,5%, dan 0,15%. Kesimpulannya, peningkatan tekanan vakum kondensator berkontribusi pada peningkatan cukup signifikan pada LMTD, laju perpindahan panas, dan efektivitas kondensator.

**Kata kunci:** LMTD, Laju Perpindahan Panas, Efektivitas Kondensator

## Abstract

This study analyzes the impact of changes in condenser vacuum pressure on heat transfer rate and condenser effectiveness at PLTU Unit 6 Suralaya. The methods used include calculating Log Mean Temperature Difference (LMTD) to determine the heat transfer rate and the NTU method to assess condenser effectiveness. The study, conducted from May 10, 2024, to May 16, 2024, between 00:00 and 23:00, found that the highest values were recorded at 15:00. At this time, the condenser vacuum pressure was 697.29 mmHg, with a heat transfer rate of 261,888.14 kW, an LMTD of 6.551°C, and a condenser effectiveness of 86.09%. Conversely, the lowest values were observed at 07:00, with a condenser vacuum pressure of 696.81 mmHg, a heat transfer rate of 113,457.6 kW, an LMTD of 2.843°C, and an effectiveness of 85.60%. Each 0.1% increase in condenser vacuum pressure is associated with an approximate increase in LMTD, heat transfer rate, and effectiveness of 95%, 0.5%, and 0.15%, respectively. In conclusion, the increase in condenser vacuum pressure contributes to a significant improvement in LMTD, heat transfer rate, and condenser effectiveness.

**Keywords:** LMTD, Heat Transfer Rate, Condenser Effectiveness

## 1. Pendahuluan

Menurut Kementerian Energi dan Sumber daya Mineral (2024), pada tahun 2023, konsumsi Listrik rata-rata nasional yaitu 1,285 kWh/perkapita dengan realisasi kapasitas pembangkit nasional terpasang adalah 90,6 GW. Sedangkan pada tahun 2021, perkiraan beban hanya sebesar 1,343 GW (Chumaidy, 2019). Menurut Kanugrahan, *et al.* (2022), Indonesia

merupakan pasar energi terbesar di Asia Tenggara dengan porsi sebesar 36%. Saat ini penyediaan listrik di Indonesia masih di kelola oleh PT Perusahaan Listrik Negara (PT PLN). PT PLN Sendiri dibagi lagi menjadi dua Perusahaan yaitu Indonesia Power (PT IP) dan PT Nusantara Power (dulunya PJB). PT Indonesia Power menyuplai kebutuhan listrik di daerah seluruh Indonesia. Seperti di Jawa Tengah, Jawa Timur, Bali, Banten,

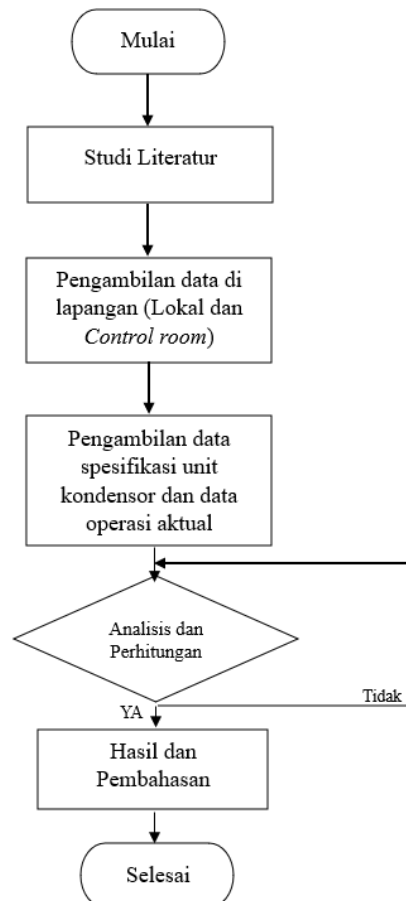
DKI Jakarta dan daerah lainnya di seluruh Indonesia. Walaupun Indonesia memiliki banyak potensi pembangkit geothermal dan energi terbarukan sebesar 400 GW (Putera, *et al.*, 2020 dan Kurniawan, *et al.*, 2022). Namun menurut Siagian, *et al.* (2022) mayoritas pembangkit listrik di Indonesia masih menggunakan bahan bakar fosil seperti batubara dan gas. Sehingga keberadaan pembangkit batubara masih dominan. Salah satu pembangkit batubara yang ada di Indonesia berada di Suralaya. Pembangkit listrik Indonesia Power Suralaya (IP Suralaya) merupakan pembangkit listrik bertenaga uap dengan kapasitas terpasang sebesar 600 MW. PLTU sendiri adalah pembangkit thermal yang bahan bakarnya merupakan energi fosil dimana hasil uap hasil pembakaran di *boiler* digunakan untuk menggerakkan turbin. PLTU memiliki setidaknya empat komponen utama yaitu pompa, *boiler*, turbin, dan kondensor. Serta, memiliki komponen auxillary seperti *force draft fan (FD Fan)*, *induced draft fan (ID Fan)*, *Mills*, *Electronic Presipitator (ESP)*.

Kondensor merupakan salah satu alat yang digunakan untuk mengkondensasi uap hasil keluaran turbin tekanan rendah. Sebelumnya, uap digunakan untuk memutar turbin dan selanjutnya uap dikondensasikan agar berubah fasa menjadi air. Hal ini bertujuan sebagai tindakan penghematan penggunaan air secara berkesinambungan dan agar terjaga kadar airnya sebelum memasuki boiler. Kondensasi uap dibantu dengan alat yaitu kondensor vakum. Alat ini merupakan salah satu paramater penting dalam boiler. Tekanan alat ini dijaga nilainya, jika tekanan vakum rendah maka akan mengakibatkan aliran balik pada turbin tekanan rendah. Menurut Farida Wahyu (2018), semakin rendah tekanan (vakum) maka titik didih akan semakin rendah yang akan mempengaruhi laju perpindahan panas dan efektivitas kondensor.

## 2. Metode Penelitian

Diagram alir yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.

Dimana penelitian ini di awali dengan studi literatur, pengambilan data di *control room* dan lapangan yang berupa data spesifikasi kondensor dan data operasi kondensor tanggal 10 – 16 Mei 2024 pukul 00:00 – 23:00, setelah itu data spesifikasi diolah dan dianalisis menggunakan metode LMTD untuk mencari nilai laju perpindahan panas dan metode *NTU-Effectiveness* untuk mencari nilai efektivitas dari kondensor.



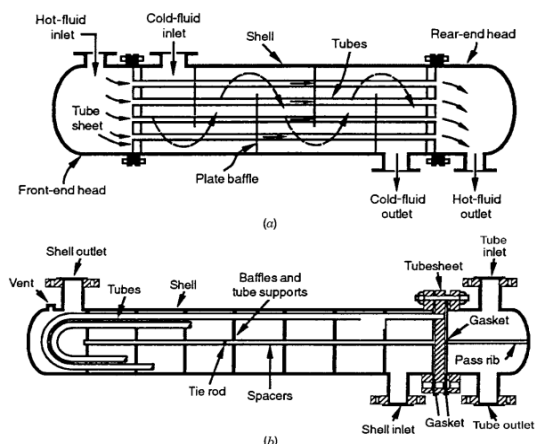
**Gambar 1.** Diagram alur penelitian pada PLTU Suralaya Unit 6.

### 2.1. Kondensor

Kondensor merupakan salah satu jenis alat mesin penukar kalor (*heat exchanger*) yang berfungsi untuk mengkondensasikan fluida kerja. Di dalam kondensor terjadi perpindahan panas antara fluida panas (uap) dan fluida dingin (air laut). Setelah terjadi perpindahan panas uap yang sudah terkondensasi menjadi air proses ditampung dalam *hotwell* dan bersamaan dengan *make up water* yang dipompa kembali menuju *boiler* untuk proses pemanasan hingga

menjadi uap kembali. Pada PLTU unit 6 Suralaya digunakan kondensor bertipe *surface condenser* dengan dua laluan (*2 passage*) *shell and tube*.

Pada *condenser* tipe kontak tidak langsung (*indirect contact condenser*), aliran fluida tetap terpisah dan panas berpindah terus menerus melalui dinding pemisah kedap air. Idealnya tipe kontak tidak langsung adalah tidak ada interaksi langsung antar fluida. Contoh kondensor tipe kontak tidak langsung antara lain *shell and tube condenser*, *extended surface*, dan *plat type*. Pada kondensor yang sedang diteliti memiliki tipe *shell and tube condenser* dimana air pendingin berupa air laut dialirkan melalui pipa sedangkan uap hasil ekstraksi turbin dilalui di dalam *shell*. *Shell and tube* dibagi lagi menjadi 2 tipe yaitu *one tube pass* dan *two tube pass* seperti terlihat pada Gambar 2 berikut ini.



**Gambar 2.** *Shell and tube condenser* tipe *one tube pass* dan *two tube pass*.

## 2.2 Analisis Besaran Koefisien Perpindahan Konveksi air laut di Pipa (Tube)

Laju perpindahan panas konveksi yang berlangsung pada pipa antara fluida panas dan fluida dingin dapat dihitung menggunakan berbagai persamaan korelasi atau empiris. Perpindahan panas terjadi karena adanya aliran internal dimana *boundary layer* atau lapisan batas dibatasi oleh sebuah permukaan sehingga tidak berkembang. Aliran internal dapat dibedakan menjadi tiga bagian yaitu aliran laminar, aliran transisi, dan aliran turbulen dengan memperhitungkan bilangan Reynold. Bilangan Reynold

merupakan suatu bilangan tak berdimensi yang digunakan untuk menentukan jenis pola aliran sebagai laminar, transisi atau turbulen saat mengalir melalui pipa.

Setelah mengetahui berbagai jenis aliran. Maka, untuk memperhitungkan besaran konveksi fluida di dalam pipa dapat memakai persamaan (1) dan (2) sebagai berikut:

- a) Jika fluida mengalami pemanasan mengalir dalam pipa dengan aliran *turbulent* dengan nilai  $Re > 2300$ , maka:

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (1)$$

- b) Jika fluida mengalami pendinginan mengalir dalam pipa dengan aliran *turbulent* dengan nilai  $Re > 2300$ , maka :

$$Nu = 0.023 Re^{0.6} Pr^{0.33} \quad (2)$$

## 2.2. Fouling Factor

*Heat exchanger* yang dipakai dalam jangka waktu yang lama, pada permukaan tempat perpindahan panas sering kali ditemukan endapan. Endapan ini dapat mengganggu aliran perpindahan panas yang nantinya akan mengakibatkan penurunan kinerja *heat exchanger*. Endapan di dalam *heat exchanger* disebut *fouling factor* ( $R_f$ ). Secara persamaan, *fouling factor* pada *heat exchanger* dapat ditulis dalam persamaan (3) berikut:

$$Fouling\ factor\ (R_f) = \frac{1}{U_{dirty}} - \frac{1}{U_{clean}} \quad (3)$$

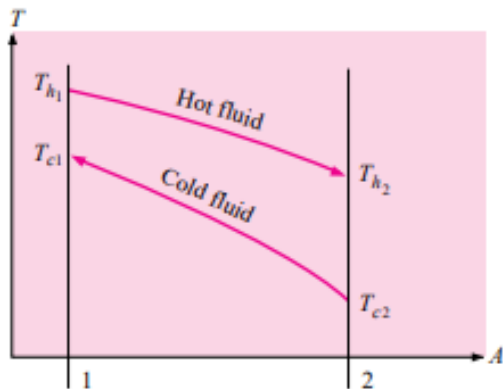
Dimana:

- $R_f$  : Faktor pengotor ( $m^2C/W$ )  
 $U_{dirty}$  : *Overall heat transfer* dalam keadaan kotor ( $W/m^2C$ )  
 $U_{clean}$  : *Overall heat transfer* dalam keadaan bersih ( $W/m^2C$ )

## 2.3. Log Mean Temperature Different (LMTD)

*Log mean temperature different* atau perbedaan suhu rata-rata logaritmik (LMTD) merupakan konsep yang digunakan dalam desain dan analisis sebuah penukar panas. Persamaan LMTD digunakan untuk menentukan efektivitas penukar panas berdasarkan perbedaan suhu antara dua fluida yang tidak

bercampur satu sama lain. Pemakaian persamaan LMTD dilihat dari arah aliran fluida sebuah *heat exchanger*. Arah aliran heat exchanger antara lain tipe *counter flow* seperti terlihat pada Gambar 3 berikut. Untuk menghitung LMTD digunakan persamaan (4) sebagai berikut:



**Gambar 3.** Distribusi Suhu pada aliran *counter - flow*.

$$\Delta T_{lmtd} = \frac{(T_{h2} - T_{c2}) - (T_{h1} - T_{c1})}{\ln \frac{(T_{h2} - T_{c2})}{(T_{h1} - T_{c1})}} \quad (4)$$

Keterangan:

- $T_{h1}$  :Suhu fluida panas masuk *heat exchanger*
- $T_{h2}$  :Suhu fluida panas keluar *heat exchanger*
- $T_{c1}$  :Suhu fluida dingin masuk *heat exchanger*
- $T_{c2}$  :Suhu fluida dingin keluar *heat exchanger*

#### 2.4. Overall Heat Transfer Coefficient (U)

*Overall heat transfer coefficient* adalah suatu parameter yang digunakan untuk menghitung laju perpindahan panas melalui suatu material atau antara dua fluida yang dipisahkan oleh permukaan. *Overall heat transfer coefficient* bergantung antara lain dengan sifat termal material dan kondisi perpindahan panas fluida seperti kecepatan fluida dan sifat termal fluida. Ketika perpindahan panas melibatkan konduksi dan konveksi maka nilai *overall heat transfer coefficient* dapat dihitung dengan mempertimbangkan resistensi termal. Persamaan (5) berikut digunakan untuk menghitung *Overall heat transfer coefficient*:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i A_i} + R_{f_i} + \frac{\ln \left( \frac{r_o}{r_i} \right)}{2\pi L k} + R_{f_o} + \frac{1}{h_o A_o} \quad (5)$$

Dimana :

- $U$  :Overall heat transfer coefficient (W)
- $h_i$  :Nilai konveksi dalam pipa (W/m<sup>2</sup>°C)
- $A_i$  :Luas perpindahan panas dalam pipa (m<sup>2</sup>)
- $h_o$  :Nilai konveksi luar pipa (W/m<sup>2</sup>°C)
- $A_o$  :Luas perpindahan panas luar pipa (m<sup>2</sup>)
- $r_o$  :Jari - jari luar pipa (m)
- $r_i$  :Jari - jari dalam pipa (m)
- $L$  :Panjang pipa (m)
- $k$  :Konduktivitas termal pipa
- $R_{f_i}$  :Fouling factor di dalam pipa (W/m<sup>2</sup>K)
- $R_{f_o}$  :Fouling factor di luar pipa (W/m<sup>2</sup>K)

#### 2.5. Metode NTU (Number of Transfer Unit) dan Efektivitas Kondensor

Metode NTU biasanya digunakan untuk menghitung efektivitas dan performa sebuah *heat exchanger*. Metode NTU ini juga memunjukkan seberapa baik alat heat exchanger dapat mentransfer panas dari satu fluida ke fluida lainnya. NTU dihitung berdasarkan parameter-parameter desain dan operasi *heat exchanger* seperti laju aliran massa, kapasitas panas spesifik ( $c_p$ ) dan area permukaan perpindahan panas.

Sedangkan efektivitas *heat exchanger* adalah rasio antara perpindahan panas aktual dengan perpindahan panas maksimum yang mungkin terjadi jika ada perbedaan suhu maksimum antara dua fluida. Efektivitas bergantung pada nilai NTU dan rasio kapasitas panas ( $C_{min}/C_{max}$ ) antara fluida panas dan fluida dingin. Persamaan (6) di bawah digunakan untuk menghitung nilai dari NTU:

$$NTU = \frac{UA}{C_{min}} \quad (6)$$

Sedangkan persamaan (7) digunakan untuk mencari nilai efektivitas kondensor:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{\text{Actual heat transfer}}{\text{Maximum possible heat transfer}} \\ &= \frac{q}{q_{max}} \quad (7) \\ q_{max} &= C_{min}(T_{h1} - T_{c1}) \quad (8) \end{aligned}$$

Nilai  $C_{min}$  didapat dari hasil nilai terkecil antara  $C_c$  dan  $C_h$ . Nilai  $C_c$  dan  $C_h$  didapat dari persamaan (9) dan (10) sebagai berikut:



$$C_c = \dot{m}_c C_{pc} \quad (9)$$

$$C_h = \dot{m}_h C_{ph} \quad (10)$$

dengan:

$U$  : Overall heat transfer coefficient (W)

$C_c$  : heat capacity rate fluida dingin (W/K)

$C_h$  : heat capacity rate fluida panas (W/K)

$\dot{m}_c$  : Laju aliran massa fluida dingin (kg/s)

$\dot{m}_h$  : Laju aliran massa fluida panas (kg/s)

$C_{ph}$  : Spesific heat capacity fluida panas (KJ/kg.K)

$C_{pc}$  : Spesific heat capacity fluida dingin (KJ/kg.K)

Nilai  $C_{min}$  dapat berupa  $C_h$  (panas) atau  $C_c$  (dingin) tergantung nilai keduanya mana yang terkecil. Efektivitas dari kondensor bertipe *shell and tube* dengan tipe *counter-flow heat exchanger* dengan jumlah *n-shell* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (11) sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{[\left(\frac{1-\varepsilon_p C}{1-\varepsilon_p}\right)^n - 1]}{[\left(\frac{1-\varepsilon_p C}{1-\varepsilon_p}\right)^n - C} \quad (11)$$

Dimana nilai  $\varepsilon_p$  merupakan efektivitas tiap *shell*. Persamaan (12) digunakan untuk menghitung nilai dari  $\varepsilon_p$  sebagai berikut:

$$\varepsilon_p = 2 \left\{ 1 + C + (1 + C^2)^{1/2} \left( \frac{1 + \exp[-N(1+C^2)^{1/2}]}{1 - \exp[-N(1+C^2)^{1/2}]} \right) \right\}^{-1} \quad (12)$$

$$C = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad (13)$$

$$N = NTU \quad (14)$$

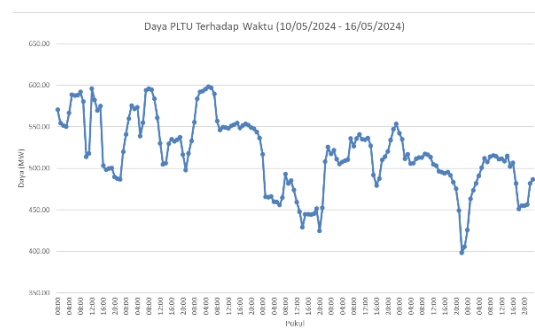
### 3. Hasil Dan Pembahasan

Tabel 1 menyajikan data operasi lengkap dari kondensor PLTU Suralaya Unit 6 serta hasil perhitungan mulai dari tanggal 10 Mei 2024 - 16 Mei 2024 Pukul 00:00 sampai dengan Pukul 23:00. Data per jam merupakan data rata-rata dari kondensor. Dari hasil perhitungan ditemukan rata-rata efisiensi adalah 85.77%. Efisiensi terbesar didapatkan pada pukul 15:00, yaitu 86.09%, sedangkan efisiensi terendah didapatkan pada pukul 07:00, yaitu 85.60%. Efisiensi rata-rata dari kondensor yang sebesar 85.77% menunjukkan bahwa kondensor pada PLTU Suralaya masih memiliki efisiensi yang cukup bagus dengan nilai di atas 85%.

Gambar 4 berikut menunjukkan daya yang dibangkitkan oleh PLTU Suralaya Unit 6 berdasarkan waktu yang diambil mulai tanggal 10 Mei 2024-16 Mei 2024. Daya yang dibangkitkan menunjukkan fluktuasi sesuai dengan kebutuhan beban yang dibutuhkan oleh pengguna per jam. Secara umum daya yang dibangkitkan akan mulai naik dari pukul 12 dini hari hingga pukul 6 pagi hari. Daya kemudian akan sedikit turun dari pukul 6 pagi hari hingga pukul 9 pagi hari. Daya kemudian akan cenderung konstan pada pukul 9 pagi hari hingga pukul 9 malam hari. Daya kemudian akan turun dari pukul 9 malam hingga pukul 12 dini hari.

**Tabel 1.** Data operasi dan perhitungan kondensor PLTU Suralaya Unit 6.

Pukul	Tekanan (mmHg)	LMTD (°C)	Q (kW)	ε (%)
00:00	696,92	4,173	167147,54	85,66
01:00	696,92	2,948	117356,75	85,66
02:00	696,95	3,382	134846,07	85,80
03:00	696,95	3,103	123794,05	85,78
04:00	696,92	2,900	115724,72	85,63
05:00	696,94	2,930	116950,21	85,64
06:00	696,93	2,853	114882,3	85,62
07:00	696,81	2,843	113457,6	85,60
08:00	696,89	2,894	115347,38	85,63
09:00	696,85	2,911	115929,68	85,63
10:00	696,96	3,095	123173,07	85,67
11:00	696,98	3,377	134524,97	85,70
12:00	696,93	3,460	137889,09	85,76
13:00	697,01	3,850	153531,68	85,84
14:00	697,09	4,365	174239,57	85,90
15:00	697,09	6,551	261888,14	86,09
16:00	697,18	4,369	174222,82	85,83
17:00	697,17	5,941	237259,86	85,97
18:00	697,20	4,641	185483,41	86,01
19:00	697,15	4,309	172074,58	85,89
20:00	697,24	3,727	148545,27	85,78
21:00	697,20	3,219	128216,49	85,69
22:00	697,17	3,820	152288,87	85,84
23:00	697,06	3,781	150844,19	85,83



**Gambar 4.** Daya Yang Dibangkitkan oleh

PLTU Suralaya Unit 6 Terhadap Waktu.

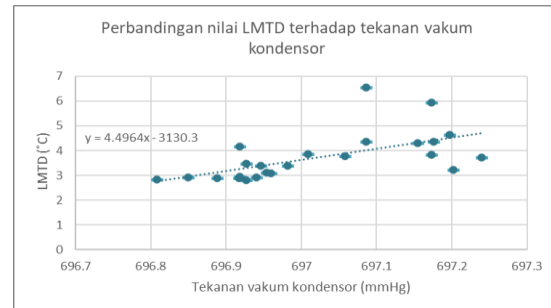
Gambar 5 menunjukkan grafik perubahan LMTD terhadap perubahan tekanan vakum kondenser. Terlihat bahwa tingkat tekanan vakum kondensor berbanding lurus terhadap perubahan nilai LMTD. Garis *trendline* pada Gambar 5 menunjukkan adanya peningkatan yang berkorelasi positif terhadap besarnya tekanan vakum kondensor. Hal ini bisa disimpulkan bahwa semakin besar tingkat kevakuman dari kondenser menyebabkan semakin tinggi nilai LMTD dari kondensor.

Gambar 6 menunjukkan perbandingan nilai laju perpindahan panas terhadap nilai tekanan vakum dari kondenser. Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa tingkat kevakuman dari suatu kondenser berbanding lurus terhadap perubahan nilai laju perpindahan panas. Pada Gambar 6 dapat dilihat juga garis *trendline* yang berkorelasi positif terhadap besarnya tekanan vakum kondensor. Sehingga bisa disimpulkan bahwa semakin besar tekanan vakum di kondenser menyebabkan semakin besar pula laju perpindahan panas di kondensor tersebut.

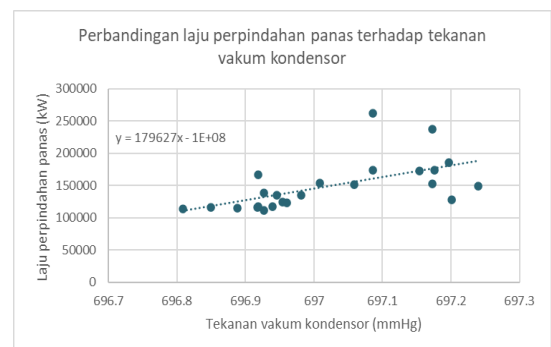
Sedangkan pada Gambar 7 memperlihatkan perbandingan nilai efektivitas dari kondensor terhadap tekanan vakum kondensor. Seperti halnya pada Gambar 5 dan 6, pada Gambar 7 dapat dilihat juga garis *trendline* antara nilai efektivitas kondensor terhadap tekanan vakum kondensor. Garis *trendline* pada Gambar 7 juga menunjukkan korelasi positif antara nilai efektivitas kondensor terhadap tekanan vakum kondensor. Dari gambar 7 dapat dilihat bahwa tingkat kevakuman dari suatu kondenser berbanding lurus terhadap perubahan nilai efektivitas dari kondensor. Sehingga semakin besar tekanan vakum di kondenser menyebabkan semakin besar pula efektivitas kondensor. Dari hasil pengamatan terdapat satu data yang nilainya di luar (*outlier*) dari garis trend (*trendline*). Kemungkinan disebabkan oleh pembacaan sensor yang sedikit terganggu ketika pengambilan data. Namun secara garis besar data yang diambil masih bisa dianalisis trend dan korelasi datanya untuk diambil kesimpulan secara umum.

Dari hasil *trendline* yang didapatkan dari hasil perhitungan diperoleh bahwa

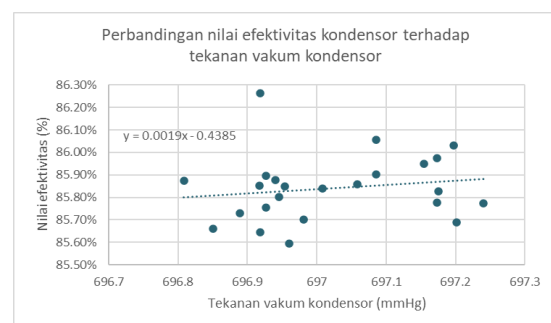
untuk setiap kenaikan tekanan vakum kondensor sebesar 0.1% maka nilai dari LMTD, laju perpindahan panas, dan efektivitas akan meningkat sekitar 95%, 0.5%, dan 0.15% secara berurutan.



**Gambar 5.** Perbandingan nilai LMTD terhadap tekanan vakum kondensor.



**Gambar 6.** Perbandingan nilai laju perpindahan panas terhadap tekanan vakum kondensor.



**Gambar 7.** Perbandingan nilai efektivitas terhadap tekanan vakum kondensor.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Rata-rata tingkat efisiensi dari kondenser di atas 85% yang berarti kondenser cukup bagus untuk mentransfer panas.
2. Pada perhitungan didapat hasil laju perpindahan panas terbesar pada pukul 15:00 dengan besar 261888,14

- kW, Nilai LMTD sebesar 6,551°C, dan efektivitasnya 86,09% dengan nilai tekanan vakum sebesar 697,09 mmHg.
3. Sedangkan laju perpindahan panas, nilai LMTD dan efektivitas terendah yaitu di pukul 07.00 dengan nilai laju perpindahan panas 113457,6 kW, nilai LMTD 2,843°C dan efektivitasnya 85,60% dengan nilai tekanan vakum sebesar 696,81 mmHg.
  4. Peningkatan tekanan vakum kondensor akan berdampak pada peningkatan LMTD, perpindahan panas, dan efektivitas. Dikarenakan semakin vakum sebuah kondensor menyebabkan penurunan suhu saturasi uap yang meningkatkan perbedaan suhu antara uap dan cairan pendingin.
  5. Untuk setiap kenaikan tekanan vakum kondensor sebesar 0.1% maka nilai dari LMTD, laju perpindahan panas, dan efektivitas akan meningkat cukup signifikan sekitar 95%, 0.5%, dan 0.15% secara berurutan.

#### Daftar Pustaka

- Alfani, T. F., Razak, A., & Rismawati, D. (2021). Analisis perpindahan panas pada kondensor dengan kapasitas air pendingin 35.860 m<sup>3</sup>/jam. *Sinergi: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Polmed*, 2(2), 62-70.
- Baliningtyas, N. S. (2018). *Analisis pengaruh tingkat kevakuman kondensor terhadap laju perpindahan panas dan efektivitas kondensor*. Departemen Teknik Mesin Industri, ITS.
- Chumaidy, A. (2019). Analisa Pemilihan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Berdasarkan Kebutuhan Beban Jangka Menengah. *Sainstech*, 29(1), 1-8.
- Efrem, J. A., Bujung, C., & Polii, J. (2021). Analisis pengaruh tekanan vakum dan perubahan suhu air terhadap efektivitas main condenser di PLTP Lahendong Unit 2. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 6(1), 9-15.
- Holman, J. (2010). *Heat transfer* (10th ed.). McGraw-Hill.
- Incropera, F. P. (2007). *Fundamentals of heat and mass transfer*. John Wiley & Sons.
- International Towing Tank Conference. (2016). *ITTC quality system manual recommended procedures and guidelines*. ITTC.
- Kanugrahan, S. P., Hakam, D. F., & Nugraha, H. (2022). Techno-economic analysis of Indonesia power generation expansion to achieve economic sustainability and net zero carbon 2050. *Sustainability*, 14(15), 9038, 1-25.
- Kementerian ESDM. (2022). *Statistik ketenagalistrikan*. Jakarta: Kementerian ESDM.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2024, 11 September). *Konsumsi listrik masyarakat meningkat, tahun 2023 capai 1.285 kWh kapita*. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/konsumsi-listrik-masyarakat-meningkat-tahun-2023-capai-1285-kwh-kapita>
- Kinsky, R. (1989). *Heat engineering: An introduction to thermodynamics*. McGraw-Hill.
- Kurniawan, I., Ichwani, R., Fionasari, R., Aryansyah, Huda, A. (2022). Indonesian's Renewable Energy Outlook: What to Expect From the Future Renewable Energy of Indonesia. A Brief Review. *Elkawnie: Journal of Islamic Science and Technology*, 8(2), 298-313.
- Lienhard, J. H. (2024). *A heat transfer textbook*. Phlogiston Press.
- Putera, H. D., Al Rosyid, H. (2020). Konservasi Energi Panas Sisa Proses Geothermal Power Plant. *Sainstech*, 30(2), 75-85.
- Shah, R. K. (2003). *Fundamentals of heat exchanger design*. John Wiley & Sons.
- Sharqawy, M. H., Lienhard, J. H., & Zubair, S. M. (2010). Thermophysical properties of seawater: A review of existing correlation and data. *Desalination and Water Treatment*, 36, 354-380.
- Siagian, R., Bainus, A., Sumadinata, R. W. S., Darmawan, W. B. (2022). Coal and Natural Gas Energy Policy for Indonesian Electricity Security. *International Journal of Health Sciences*, 6(S4), 10265-10277.
- Soekardi, C. (2019). *Teknik perpindahan energi panas*. Penerbit Andi.

**Sudirmanto, & Effendi, A. R. (2020).**

Analisis perubahan tekanan vakum kondensor terhadap kinerja turbin dan produksi listrik PLTU unit 1 Sebalang menggunakan simulasi cycle tempo. *Jurnal Power Plant*, 8, 1-29.

**Wahyu, F. (2018).** *Pengaruh tekanan udara terhadap titik didih air menggunakan data logger* (Tugas Akhir). Universitas Gadjah Mada (UGM).