

Contents list available at [Sinta](https://sinta)**A R M A T U R**

: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur

Journal homepage: <https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur>**Evaluasi Kinerja *Cooling Tower Tipe Counter Flow Mechanical Induced Draft* pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (Studi Kasus: PT Pertamina Geothermal Energy (Tbk), Area Ulubelu, Unit 4)****Agus Apriyanto^{1*}, Hafidz Zakiyun Alrasyid², Amrul², Hadi Prayitno²**¹Prodi Teknologi Rekayasa Otomotif, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Lampung, Jl. Soekarno Hatta No. 10 Kota Bandar Lampung, Lampung, Indonesia.²Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jl. Prof. Dr. Soemantri Brojonegoro No. 1 Kota Bandar Lampung, Lampung, Indonesia.**A R T I C L E
I N F O**

Keywords:
cooling tower
effectiveness
counter flow
mechanical induced draft
geothermal power plant
geothermal energy

A B S T R A C T

The thermal performance of the cooling tower at Geothermal Power Plant (PLTP) Ulubelu Unit 4 needs to be evaluated to ensure its effectiveness in removing heat from the condenser cooling system. This study aims to analyze the effectiveness of a counter flow mechanical induced draft cooling tower at PLTP Unit 4, PT Pertamina Geothermal Energy (Tbk), Ulubelu Area. The data were obtained from field measurements conducted over seven days at fourtime intervals each day. The parameters analyzed include range, approach, and effectiveness, calculated using inlet water temperature, outlet water temperature, and wet bulb temperature. The results show an average effectiveness value of 70.05%, with variations influenced by changes in range and approach values. This effectiveness is close to the design standards stated in the manufacturer's specifications, indicating that the cooling tower operates with good performance. This analysis provides an overview of the actual equipment condition and can serve as a reference for maintenance and performance optimization in the future.

Pendahuluan

Energi panas bumi merupakan salah satu sumber energi terbarukan paling

*Corresponding author: agusapriyanto@polinela.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.24127/armatur.v7i2.11089>

Received 3 February 2026; Received in revised form 16 March 2026; Accepted 6 April 2026

Available online 1 September 2026

penting di Indonesia, dengan potensi sekitar 23,7 GW, sehingga menempatkan Indonesia sebagai salah satu negara dengan cadangan panas bumi terbesar di dunia [1]. Namun, kapasitas yang dimanfaatkan saat ini masih relatif kecil, sehingga terdapat peluang besar untuk ekspansi pemanfaatan, baik untuk pembangkitan listrik berskala industri maupun aplikasi langsung pada tingkat rumah tangga. Pemanfaatan panas bumi biasanya dilakukan melalui geothermal power plant (PLTP) yang memanfaatkan panas dari aktivitas magma. Pada sistem ini, keberadaan sistem pendinginan menjadi sangat penting untuk memungkinkan siklus penggunaan ulang air panas, terlebih karena PLTP umumnya beroperasi di kawasan pegunungan dengan ketersediaan air yang terbatas [2].

Salah satu komponen penting dalam sistem ini adalah *cooling tower*, yang berfungsi melepaskan panas dari air panas menuju atmosfer agar proses pembangkitan dapat berjalan secara efisien [3]. Efektivitas *cooling tower* sangat dipengaruhi oleh parameter seperti *range* dan *approach* suhu, yang masing-masing menunjukkan selisih suhu antara air masuk dan keluar serta selisih antara suhu air keluar dengan suhu *wet-bulb* lingkungan [4], [5].

Penelitian sebelumnya oleh Apriyanto et al. (2025) menganalisis kinerja sistem pendingin primer pada pembangkit listrik tenaga panas bumi tipe *flash steam* yang terdiri dari kondensor kontak langsung dan *induced draft cooling tower*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa performa *cooling tower* memiliki peran penting dalam mendukung efisiensi sistem kondensasi dan efisiensi pembangkit secara keseluruhan. Selain itu, kinerja *cooling tower* juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti temperatur dan kelembaban udara, serta kondisi fisik peralatan. Faktor pemeliharaan seperti *fouling* dan *scaling* pada media pendingin dapat menurunkan efektivitas sistem sehingga perlu dikendalikan untuk menjaga kinerja operasi. Namun demikian, kajian yang secara spesifik mengevaluasi

efektivitas *cooling tower* berdasarkan parameter operasional seperti *range* dan *approach* pada PLTP Ulubelu Unit 4 masih terbatas, sehingga penelitian ini dilakukan untuk memberikan gambaran mengenai performa aktual *cooling tower* pada unit tersebut.

Pelaksanaan studi pada PT Pertamina Geothermal Energy (Tbk) Ulubelu Unit 4 bertujuan untuk menganalisis parameter performa tersebut selama periode tertentu sebagai upaya menilai efektivitas *cooling tower* berdasarkan standar pabrikaan [6]. Pengumpulan data dilakukan selama satu minggu pada interval waktu tertentu untuk mengamati bagaimana variasi *range* dan *approach* mempengaruhi performa menara pendingin. Analisis ini diharapkan memberikan gambaran mengenai efisiensi operasional serta peluang optimalisasi pengoperasian *cooling tower* pada kondisi iklim tropis Indonesia (Abdel Rahman & Dincer, 2020).

Secara keseluruhan, energi panas bumi tetap menjadi sektor yang sangat potensial untuk terus dikembangkan di Indonesia, dan peningkatan efektivitas sistem pendinginan PLTP merupakan langkah penting guna mendukung optimalisasi pemanfaatan energi terbarukan [2], [5], [8]

Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Geothermal Power Plant (PLTP) Unit 4, PT Pertamina Geothermal Energy (Tbk), Area Ulubelu, Tanggamus, Lampung, selama satu bulan (1–31 Juli 2024). Namun, data operasional yang dianalisis dalam penelitian ini difokuskan pada periode 4–10 Juli 2024, yang dipilih sebagai periode representatif untuk menggambarkan kondisi operasi *cooling tower*. Metode penelitian dirancang untuk mencapai tujuan utama, yaitu mengevaluasi efektivitas *cooling tower* dan menganalisis pengaruh parameter *approach* dan *range* terhadap kinerjanya.

Pendekatan Penelitian. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif

dengan memanfaatkan pengukuran langsung dan data operasional untuk menghitung indikator performa *cooling tower*. Analisis efektivitas dilakukan menggunakan metode *range-approach*, yang dipilih karena sifatnya yang praktis dan sesuai untuk evaluasi performa *cooling tower* industri [9].

Instrumen Pengukuran.

Pengukuran suhu air masuk (T_{in}), air keluar (T_{out}), dan suhu ambient wet-bulb (T_{wb}) diperoleh dari sistem pemantauan Central Control Room (CCR), yang menggunakan sensor suhu industri terkalibrasi dengan akurasi $\pm 0,1$ °C dan rentang pengukuran 0–100 °C. Kalibrasi sensor diverifikasi sesuai prosedur operasi standar PLTP sebelum pengambilan data [10]

Metode Pengambilan Sampel.

Data dikumpulkan selama tujuh hari berturut-turut dengan empat interval pengukuran per hari, yaitu pada pukul 00.00, 06.00, 12.00, dan 18.00. Pemilihan waktu tersebut dilakukan secara purposif untuk mewakili kondisi operasi malam, pagi, siang, dan sore. Total 28 set data diperoleh untuk dianalisis [12], [13]

Prosedur Pengumpulan Data. Data suhu dicatat langsung dari tampilan sistem CCR, yang mengintegrasikan pembacaan sensor melalui jaringan *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA). Setiap dataset yang direkam mencakup nilai T_{in} , T_{out} , dan T_{wb} . Seluruh data kemudian disimpan dalam spreadsheet untuk keperluan pemrosesan lanjutan [5], [14], [15].

Analisis Data. Analisis data dilakukan menggunakan Microsoft Excel. Nilai *range* (Pers. 1), *approach* (Pers. 2), dan efektivitas (Pers. 3) dihitung sebagai [9].

$$\text{Range} = T_{in} - T_{out} \quad (1)$$

$$\text{Approach} = T_{out} - T_{wb} \quad (2)$$

$$\varepsilon = \frac{\text{Range}}{\text{Range} + \text{Approach}} \times 100\% \quad (3)$$

Dimana:

$$T_{in} = \text{inlet water temperature (}^\circ\text{C)}$$

$$T_{out} = \text{outlet water temperature (}^\circ\text{C)}$$

$$T_{wb} = \text{ambient wet-bulb temperature (}^\circ\text{C)}$$

$$\varepsilon = \text{cooling tower effectiveness (\%)} \quad (3)$$

Nilai efektivitas yang telah dihitung kemudian dibandingkan dengan spesifikasi desain yang diberikan oleh pabrikan *cooling tower*. Analisis grafis dilakukan untuk mengidentifikasi tren serta menilai pengaruh nilai *range* dan *approach* terhadap efektivitas *cooling tower* [5], [9].

Tabel 1. Spesifikasi Umum Cooling Tower Unit 4 PT Pertamina Geothermal Energy (Tbk) Area Ulubelu.

Customer Name	Fuji Electric
Performance Data	
<i>Water Circulation</i>	18,000 m ³ /h
<i>Inlet Water Circulation Temperature</i>	38.8 °C
<i>Outlet Water Circulation Temperature</i>	28.0 °C
<i>Design Wet-Bulb Temperature</i>	25.0 °C
Tower Design Data	
<i>Type</i>	<i>Mechanical induced draught, counterflow</i>
<i>Overall Length/Width</i>	17,230 × 101,580 mm
<i>Number of Units</i>	2
<i>Number of Cells per Unit</i>	6
<i>Distance from Basin to Distribution Center Line</i>	9,600 mm
<i>Drift Loss Circulation</i>	0.002 (0.36 m ³ /h)
Fan Data	
<i>Type</i>	<i>Axial flow fan (blade pitch adjustment at standstill)</i>
<i>Diameter</i>	9,754 mm
<i>Blade Material</i>	FRP
<i>Hub Material</i>	<i>Carbon steel + HDG (hot-dip galvanized) + epoxy coating</i>
<i>Fan Speed</i>	103.6 rpm

Hasil dan Pembahasan

Pengukuran pada *cooling tower* PLTP Ulubelu dilakukan selama 7 hari berturut-turut, dari tanggal 4–10 Juli 2024, pada empat interval waktu berbeda (00.00, 06.00, 12.00, dan 18.00 WIB). Parameter yang diamati meliputi temperatur air masuk (T_{in}), temperatur air keluar (T_{out}), serta temperatur wet bulb (T_{wb}). Berdasarkan

data tersebut, nilai *range*, *approach*, dan efektivitas dihitung menggunakan persamaan standar yang ditunjukkan pada Tabel 2. Hasil perhitungan ini menjadi dasar dalam menganalisis performa *cooling tower* selama periode pengamatan.

Tabel 2. Suhu air masuk (T_{in}), suhu air keluar (T_{out}), dan suhu wet bulb (T_{wb}) pada *Cooling Tower* Unit 4, PT Pertamina Geothermal Energy Area Ulubelu, yang diukur pada periode 4–10 Juli 2024 dengan empat interval waktu pengukuran setiap hari.

Time	T_{Water}		$T_{Wet Bulb}$ (°C)
	T_{in} (°C)	T_{out} (°C)	
07/04/2024 00:00:00	39,18	25,94	20,33
07/04/2024 06:00:00	38,90	25,59	19,47
07/04/2024 12:00:00	40,65	27,32	21,86
07/04/2024 18:00:00	40,65	27,32	22,11
07/05/2024 00:00:00	39,80	26,45	20,62
07/05/2024 06:00:00	39,71	26,38	20,24
07/05/2024 12:00:00	40,14	26,77	21,24
07/05/2024 18:00:00	39,54	26,26	20,00
07/06/2024 00:00:00	39,29	25,90	20,20
07/06/2024 06:00:00	39,38	26,14	20,40
07/06/2024 12:00:00	40,19	26,97	21,57
07/06/2024 18:00:00	40,28	26,97	21,30
07/07/2024 00:00:00	39,17	25,90	19,97
07/07/2024 06:00:00	39,08	25,71	19,37
07/07/2024 12:00:00	40,71	27,32	21,75
07/07/2024 18:00:00	40,35	27,01	21,60
07/08/2024 00:00:00	39,22	25,90	19,90
07/08/2024 06:00:00	38,80	25,39	19,35
07/08/2024 12:00:00	40,68	27,20	21,72
07/08/2024 18:00:00	40,42	26,97	21,32
07/09/2024 00:00:00	40,06	26,61	20,47
07/09/2024 06:00:00	39,49	26,06	19,90
07/09/2024 12:00:00	41,13	27,56	22,23
07/09/2024 18:00:00	41,22	27,68	21,82
07/10/2024 00:00:00	40,24	26,73	21,02
07/10/2024 06:00:00	39,65	26,18	20,30
07/10/2024 12:00:00	40,24	26,77	21,81
07/10/2024 18:00:00	40,88	27,36	22,03

Hasil perhitungan lengkap menggunakan Persamaan (1), (2), dan (3) ditampilkan pada Tabel 3. Berdasarkan data tersebut, nilai *approach* berada pada rentang 4,95–6,33°C, sedangkan nilai *range* tercatat antara 13,22–13,57°C. Nilai *range* yang relatif stabil menunjukkan bahwa perbedaan temperatur antara air masuk dan air keluar dari *cooling tower* cenderung konstan selama periode pengamatan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa proses pelepasan panas dari air pendingin ke udara berlangsung secara relatif stabil, sehingga kapasitas pendinginan *cooling tower* selama periode pengamatan berada dalam kondisi operasi yang cukup konsisten.

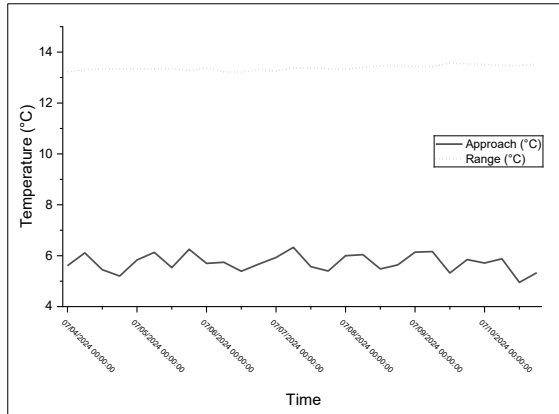
Sementara itu, nilai *approach* menunjukkan seberapa dekat temperatur air keluar dengan temperatur *wet-bulb* udara lingkungan. Nilai *approach* yang relatif kecil menunjukkan bahwa proses perpindahan panas dan massa antara air dan udara berlangsung dengan cukup efektif. Hubungan antara nilai *range* yang stabil dan nilai *approach* yang relatif rendah tersebut berkontribusi terhadap nilai efektivitas *cooling tower* yang berada pada kisaran 67,85–73,10%. Rata-rata efektivitas aktual selama periode pengamatan adalah 70,05%, yang masih berada di bawah nilai efektivitas desain sebesar 78,20%,

Tabel 3. Nilai *approach*, *range*, dan efektivitas pada *Cooling Tower* Unit 4, PT Pertamina Geothermal Energy Area Ulubelu, yang dihitung menggunakan Persamaan (1), (2), dan (3) berdasarkan pengukuran temperatur selama periode 4–10 Juli 2024 pada empat interval waktu setiap hari,

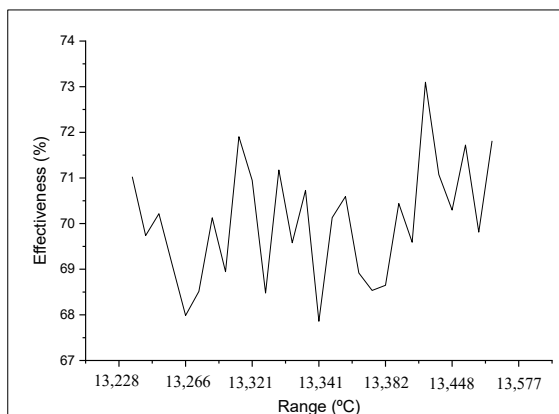
No	Waktu	Approach (°C)	Range (°C)	Efektivitas
1	07/04/2024 00:00:00	5,61	13,23	70,21%
2	07/04/2024 06:00:00	6,11	13,31	68,51%
3	07/04/2024 12:00:00	5,45	13,33	70,94%
4	07/04/2024 18:00:00	5,20	13,33	71,90%
5	07/05/2024 00:00:00	5,83	13,34	69,57%
6	07/05/2024 06:00:00	6,13	13,33	68,47%
7	07/05/2024 12:00:00	5,53	13,36	70,72%
8	07/05/2024 18:00:00	6,25	13,28	67,98%
9	07/06/2024 00:00:00	5,70	13,38	70,12%
10	07/06/2024 06:00:00	5,74	13,23	69,73%
11	07/06/2024 12:00:00	5,39	13,22	71,02%
12	07/06/2024 18:00:00	5,67	13,31	70,12%
13	07/07/2024 00:00:00	5,93	13,26	69,09%
14	07/07/2024 06:00:00	6,33	13,37	67,85%
15	07/07/2024 12:00:00	5,57	13,38	70,59%
16	07/07/2024 18:00:00	5,40	13,34	71,17%
17	07/08/2024 00:00:00	6,00	13,32	68,95%
18	07/08/2024 06:00:00	6,04	13,40	68,92%
19	07/08/2024 12:00:00	5,48	13,47	71,08%
20	07/08/2024 18:00:00	5,64	13,45	70,44%
21	07/09/2024 00:00:00	6,14	13,44	68,65%
22	07/09/2024 06:00:00	6,16	13,43	68,54%
23	07/09/2024 12:00:00	5,32	13,57	71,81%
24	07/09/2024 18:00:00	5,85	13,54	69,81%
25	07/10/2024 00:00:00	5,71	13,51	70,30%
26	07/10/2024 06:00:00	5,88	13,46	69,59%
27	07/10/2024 12:00:00	4,95	13,47	73,10%
28	07/10/2024 18:00:00	5,33	13,52	71,72%
Efektivitas Rata-Rata				70,05%

Perbandingan nilai *range* dan *approach* ditunjukkan pada Gambar 1, yang menggambarkan kecenderungan kedua parameter tersebut selama periode pengamatan, Hubungan antara *range* dan efektivitas dapat dilihat pada Gambar 2,

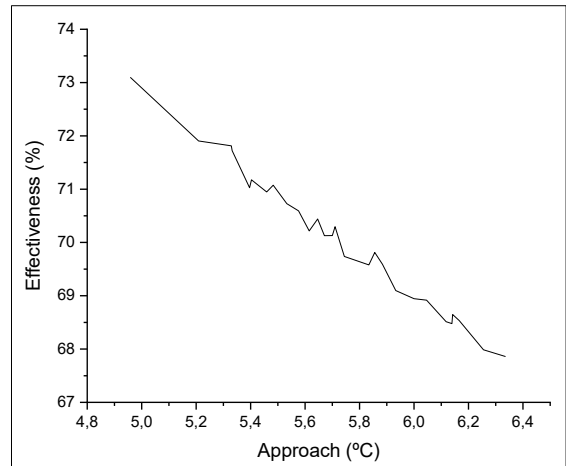
sedangkan pengaruh *approach* terhadap efektivitas ditampilkan pada Gambar 3, Selain itu, perbandingan antara efektivitas aktual dan efektivitas desain dapat dilihat pada Gambar 4,



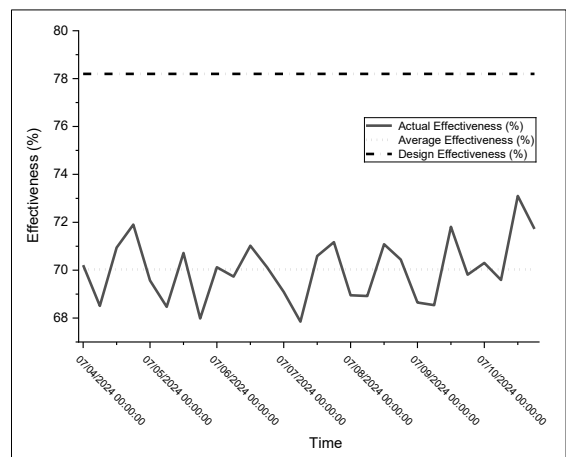
Gambar 1, Perbandingan temperatur *approach* dan *range* pada *Cooling Tower* Unit 4 di PT Pertamina Geothermal Energy, Area Ulubelu (Laporan Harian CCR PT Pertamina Geothermal Energy Area Ulubelu),



Gambar 2, Hubungan antara nilai *range* dan efektivitas pada *Cooling Tower* Unit 4, PT Pertamina Geothermal Energy Area Ulubelu (Laporan Harian CCR PT Pertamina Geothermal Energy Area Ulubelu),



Gambar 3, Hubungan antara nilai *approach* dan efektivitas pada *Cooling Tower* Unit 4 di PT Pertamina Geothermal Energy, Area Ulubelu (Laporan Harian CCR PT Pertamina Geothermal Energy Area Ulubelu),



Gambar 4, Perbandingan efektivitas aktual, desain, dan rata-rata Unit Menara Pendingin 4 di PT Pertamina Energi Panas Bumi, Area Ulubelu (Laporan Harian CCR PT Pertamina Energi Panas Bumi Area Ulubelu),

Berdasarkan data pada Tabel 3 dan kecenderungan yang terlihat pada Gambar 1, nilai *range* menunjukkan kestabilan pada kisaran 13,3 °C, Hal ini mengindikasikan bahwa *cooling tower* mampu mempertahankan selisih temperatur antara air masuk dan air keluar secara konsisten, Kestabilan tersebut menunjukkan bahwa kapasitas pembuangan panas menara pendingin masih memadai untuk kondisi operasi yang diamati (Apriyanto et al., 2025)),

Namun demikian, nilai efektivitas aktual tercatat lebih rendah dibandingkan efektivitas desain (Gambar 4), yang menunjukkan adanya penurunan performa dibandingkan kondisi operasional awal. Penurunan ini umumnya berkaitan dengan kombinasi faktor operasional, kondisi lingkungan, serta degradasi fisik komponen sistem [5], [15]. Secara khusus, media isian (fill media) yang kotor atau tersumbat dapat mengurangi luas permukaan perpindahan panas dan mengganggu distribusi aliran udara, sehingga menurunkan efisiensi perpindahan panas [15].

Hubungan antara *approach* dan efektivitas pada Gambar 3 menunjukkan korelasi negatif, di mana nilai *approach* yang lebih rendah cenderung menghasilkan efektivitas yang lebih tinggi. Temuan ini sejalan dengan teori dasar *cooling tower*, bahwa *approach* yang lebih kecil—yang merupakan selisih antara suhu air dingin keluar dan suhu *wet bulb* lingkungan (T_{wb})—menandakan kondisi pendinginan yang lebih mendekati batas termodinamika, sehingga kinerja menara pendingin menjadi lebih baik [5], [9].

Pada penelitian ini, nilai *wet-bulb temperature* (T_{wb}) yang terukur cenderung lebih rendah dibandingkan dengan parameter desain, sehingga meningkatkan nilai *approach* dan pada akhirnya menurunkan efektivitas (Gambar 2). Hal ini menunjukkan bahwa selisih antara temperatur air keluar dari *cooling tower* dan temperatur *wet-bulb* udara lingkungan menjadi lebih besar dibandingkan kondisi desain. Temperatur *wet-bulb* merupakan salah satu parameter penting dalam kinerja *cooling tower* karena mencerminkan kemampuan udara lingkungan dalam menyerap panas dan uap air dari air pendingin melalui proses perpindahan panas dan massa. Perubahan kondisi atmosfer selama periode pengamatan dapat mempengaruhi proses tersebut, sehingga berdampak pada kemampuan pendinginan sistem, faktor lingkungan seperti variasi suhu udara, kelembaban relatif, dan kecepatan angin juga memiliki pengaruh

signifikan terhadap nilai *approach* maupun efektivitas *cooling tower* [15].

Kesimpulan

Melalui analisis nilai *approach*, *range*, dan efektivitas, penelitian ini menunjukkan bahwa meskipun perbedaan temperatur antara air masuk dan air keluar (*range*) relatif stabil pada sekitar 13,3 °C, nilai efektivitas aktual yang diperoleh sebesar 70,05% masih lebih rendah dibandingkan efektivitas desain sebesar 78,20%. Hal ini menunjukkan adanya penurunan kinerja *cooling tower* sebesar **8,15%** dari kondisi desain. Selisih tersebut mengindikasikan bahwa kemampuan sistem dalam melepaskan panas ke lingkungan tidak sepenuhnya mencapai performa yang dirancang, yang dapat dipengaruhi oleh kondisi operasi maupun faktor lingkungan selama periode pengamatan. Korelasi negatif yang terlihat antara nilai *approach* dan efektivitas juga menguatkan teori dasar menara pendingin, bahwa nilai *approach* yang lebih rendah berkaitan dengan peningkatan efisiensi perpindahan panas,

Temuan ini memberikan kontribusi terhadap pemahaman kinerja menara pendingin di PLTP dengan menghadirkan bukti lapangan mengenai penurunan performa dalam kondisi operasi nyata. Hasil tersebut menyoroti pengaruh *fouling*, variasi suhu *wet bulb* lingkungan, serta faktor lingkungan lain terhadap efisiensi sistem. Selain itu, hasil penelitian menegaskan pentingnya pemantauan berkelanjutan dan kegiatan pemeliharaan yang tepat untuk mempertahankan performa optimal menara pendingin,

Penerapan praktis dari studi ini mencakup integrasi sistem pemantauan real-time dan strategi perawatan prediktif untuk mendeteksi penurunan kinerja sejak dini. Penelitian selanjutnya dapat diarahkan pada validasi eksperimental terhadap metode pembersihan atau *retrofitting* yang ditargetkan, pemodelan *computational fluid dynamics* (CFD) untuk mengoptimalkan distribusi udara dan air, serta analisis performa musiman guna memahami

pengaruh variasi iklim yang lebih luas, Eksperimen yang sedang berjalan di bidang-bidang tersebut diharapkan mampu memberikan rekomendasi praktis untuk meningkatkan operasi *cooling tower* pada PLTP maupun pembangkit termal lainnya,

Referensi

- [1] M. J. Barasa Kabeyi, “Geothermal Electricity Generation, Challenges, Opportunities and Recommendations,” *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering*, vol. 5, no. 8, pp. 53–95, 2019, doi: 10.31695/IJASRE.2019.33408.
- [2] M. J. Barasa Kabeyi and O. Akanni. Olanrewaju, “Geothermal Power Generation Options and Technologies,” in *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Michigan, USA: IEOM Society International, Nov. 2023. doi: 10.46254/AU02.20230242.
- [3] M. Alibaba, R. Pourdarbani, M. Hasan Khoshgoftar Manesh, I. Herrera-Miranda, I. Gallardo-Bernal, and J. L. Hernández-Hernández, “Conventional and Advanced Exergy-Based Analysis of Hybrid Geothermal–Solar Power Plant Based on ORC Cycle,” *Applied Sciences*, vol. 10, no. 15, p. 5206, Jul. 2020, doi: 10.3390/app10155206.
- [4] A. Dhorat, M. A. Al-Obaidi, and I. M. Mujtaba, “Dynamic modelling and operational optimisation of natural draft cooling towers,” *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 9, pp. 30–43, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.tsep.2018.10.013.
- [5] A. Apriyanto *et al.*, “Analisis Kinerja Komprehensif Sistem Pendingin Primer terhadap Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Tipe Flash Steam,” *Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai*, vol. 19, no. 03, pp. 2549–3442, 2025, doi: 10.23960/elc.v19n3.2855.
- [6] R. S. Kusumo, D. Rhakasywi, and F. Fahrudin, “Analysis of Allergies and Optimization in Kamojang Dry Steam Type Geothermal Power Plant With A Capacity of 55 MW,” *Eduvest - Journal of Universal Studies*, vol. 4, no. 12, pp. 11695–11707, Dec. 2024, doi: 10.59188/eduvest.v4i12.44733.
- [7] A. Abdel Rahman and I. Dincer, “Analysis and assessment of a geothermal based cogeneration system and lithium extraction,” *Int. J. Energy Res.*, vol. 44, no. 12, pp. 9586–9597, Oct. 2020, doi: 10.1002/er.5356.
- [8] K. Smolka and S. Dykas, “The analysis of a Velox-type CHP plant for various gaseous fuels,” *E3S Web of Conferences*, vol. 137, p. 01001, Dec. 2019, doi: 10.1051/e3sconf/201913701001.
- [9] P. Ahluriza and N. Sinaga, “Review Pengaruh Range Dan Approach Terhadap Efektivitas Cooling Tower Unit 2 Di Pt. Indonesia Power Kamojang,” *ENERGI & KELISTRIKAN*, vol. 13, no. 2, pp. 141–149, Dec. 2021, doi: 10.33322/energi.v13i2.1267.
- [10] C. Liu, C. Zhao, Y. Wang, and H. Wang, “Machine-Learning-Based Calibration of Temperature Sensors,” *Sensors*,

- vol. 23, no. 17, p. 7347, Aug. 2023, doi: 10.3390/s23177347.
- [11] M. F. Buland Iqbal, R. Abbasi, F. Sultan, and S. Bano, "Design and Implementation of a Multi-Channel Temperature Measurement System Based on LabVIEW," *International Journal of Current Science Research and Review*, vol. 06, no. 06, Jun. 2023, doi: 10.47191/ijcsrr/V6-i6-02.
- [12] M. Yantidewi, N. A. Lestari, and U. A. Deta, "Conducting A Real-Time Instrument System for Observing Biogas Digesters Temperature and Humidity," in *Proceedings of the Mathematics, Informatics, Science, and Education International Conference (MISEIC 2018)*, Paris, France: Atlantis Press, 2018. doi: 10.2991/miseic-18.2018.58.
- [13] Y. Cui, Y. Xie, and J. Yin, "Research of transient temperature measuring based on thin-film thermocouple and Wi-Fi wireless DAQ method," *Journal of Instrumentation*, vol. 18, no. 02, p. P02021, Feb. 2023, doi: 10.1088/1748-0221/18/02/P02021.
- [14] J. E. M. Perea Martins, "A data acquisition system for water heating and cooling experiments," *Phys. Educ.*, vol. 52, no. 1, p. 015019, Jan. 2017, doi: 10.1088/1361-6552/52/1/015019.
- [15] H. Alimoradi *et al.*, "Experimental Investigation on Improvement of Wet Cooling Tower Efficiency with Diverse Packing Compaction Using ANN-PSO Algorithm," *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 1, p. 167, Dec. 2020, doi: 10.3390/en14010167.