

ANALISIS PERFORMA COOLING TOWER JENIS INDUCED DRAFT COUNTER FLOW DI POWER PLANT

Jhon Hericson Purba^{1*}, Alfina Syaputri¹

¹ Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Politeknik Negeri Batam

*Corresponding author: jhonhericson@polibatam.ac.id

Article history

Received:

25-08-2025

Accepted:

17-12-2025

Published:

30-12-2025

Copyright © 20xx
Jurnal Teknologi dan
Riset Terapan

Open Access

Abstrak

Cooling tower merupakan komponen penting dalam sistem pendinginan air di *power plant*. Dalam operasinya, proses pendinginan terjadi ketika air yang masuk ke *cooling tower* mengalami perpindahan panas melalui kontak langsung dengan udara dingin, mengakibatkan penguapan. Proses ini menyebabkan kehilangan air (*losses*) dalam bentuk *evaporation loss* dan *blowdown*, yang berdampak pada kapasitas pendinginan peralatan produksi. Penelitian bertujuan menganalisis performa *cooling tower* jenis *Induced draft counter flow* di PT. X dengan menggunakan parameter yang dianalisis meliputi *range*, *approach*, efektivitas pendinginan, *evaporation loss*, dan kapasitas pendinginan. Hasil penelitian menunjukkan *cooling tower* beroperasi dengan *range* 6,03°C, *approach* 4,4°C, efektivitas 58,75%, *make-up water* 43,07 m³/jam, dan kapasitas pendinginan 29.419,58 kW. Korelasi kuat antara temperatur air masuk dan keluar (0,958) menunjukkan performa perpindahan panas yang konsisten. Sistem menunjukkan peningkatan performa dengan ΔT meningkat dari 2,78°C (2015) menjadi 6,44°C (2024). Kesimpulan yang diperoleh setelah dilakukan analisis adalah *cooling tower* masih layak digunakan namun memerlukan perawatan rutin untuk optimasi performa.

Kata Kunci: Menara Pendingin, Efektivitas, Make-up Water, Kapasitas pendinginan

Abstract

The cooling tower is a crucial component in the water cooling system of a power plant. During its operation, the cooling process occurs when the water entering the cooling tower undergoes heat transfer through direct contact with cool air, resulting in evaporation. This process leads to water losses in the form of evaporation loss and blowdown, which affect the cooling capacity of production equipment. This study aims to analyze the performance of an induced draft counter-flow cooling tower at PT. X by examining parameters such as range, approach, cooling effectiveness, evaporation loss, and cooling capacity. The results indicate that the cooling tower operates with a range of 6.03°C, an approach of 4.4°C, a cooling effectiveness of 58.75%, a make-up water rate of 43.07 m³/h, and a cooling capacity of 29,419.58 kW. A strong correlation (0.958) between inlet and outlet water temperatures demonstrates consistent heat transfer performance. The system shows improved performance, with ΔT increasing from 2.78°C in 2015 to 6.44°C in 2024. Based on the analysis, it can be concluded that the cooling tower remains feasible for operation but requires regular maintenance to optimize performance.

Keywords: Cooling tower, Efficiency, Make-up Water, Cooling Capacity

1.0 PENDAHULUAN

Cooling tower merupakan peralatan yang digunakan industri untuk memproses air panas menjadi air dingin dengan menurunkan temperatur air, serta memastikan sistem pendinginan berfungsi optimal dalam menjaga kestabilan proses produksi[1]. Sebagai alat penukar panas, *cooling tower* berfungsi mendinginkan air dengan cara

mengontakkannya secara langsung dengan udara, mengakibatkan penguapan sebagian kecil air tersebut [2]. Ketika air berinteraksi dengan aliran udara yang bergerak dan kemudian dilepaskan ke atmosfer, air yang tersisa mengalami penurunan temperatur yang signifikan [3][4]. Dibandingkan dengan peralatan pendingin lain yang hanya menggunakan udara atau yang tidak menggunakan proses penguapan ke atmosfer, *cooling tower* memiliki

kemampuan lebih baik dalam menurunkan temperatur air, menjadikannya lebih efektif dari segi biaya dan penggunaan energi[5][6].

Prinsip kerja *cooling tower* didasarkan pada mekanisme pelepasan dan transfer panas dari air ke udara[7]. Air bertemperatur tinggi berinteraksi secara langsung dengan udara, memungkinkan terjadinya proses penguapan. Ketika sebagian kecil air menguap, panas dibawa oleh uap air tersebut ke udara dan dilepaskan ke atmosfer, mengakibatkan air yang tersisa mengalami pendinginan yang signifikan[8]. *Cooling tower* tipe *induced draft* merupakan varian dari *cooling tower mechanical draft* yang menggunakan fan berukuran besar untuk mengoptimalkan sirkulasi udara[9]. Sistem ini mengaplikasikan prinsip *counter flow* (aliran berlawanan arah) antara air dan udara, dimana air yang disemprotkan dari bagian atas melalui nozel bertekanan akan mengalir turun melewati media pengisi (*fill*), sementara udara bergerak ke atas secara vertikal[10].

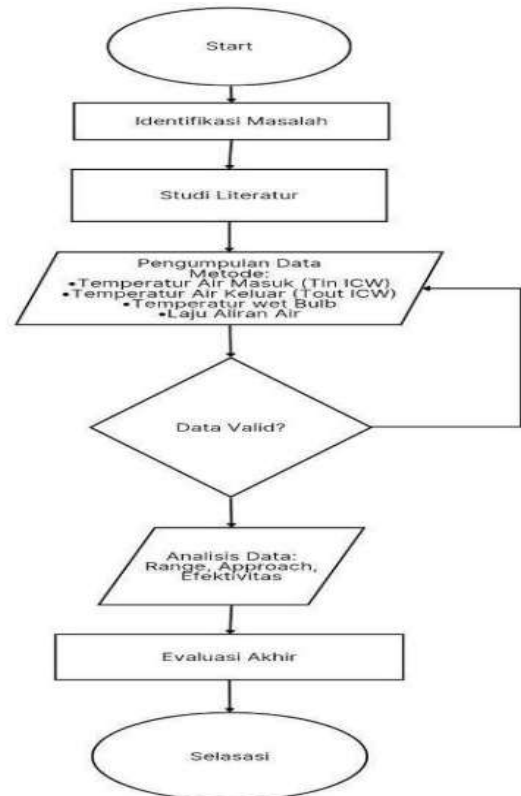
PT X, sebagai salah satu produsen oleokimia terkemuka, membutuhkan sistem pendinginan yang efisien untuk operasi di *Power plant*, dimana telah mengimplementasikan menara pendingin jenis *induced draft counter flow* yang dirancang untuk mengoptimalkan efisiensi termal melalui aliran air berlawanan arah sambil meminimalkan kehilangan air melalui evaporasi. Dalam operasinya, proses pendinginan terjadi ketika air yang masuk ke *cooling tower* mengalami perpindahan panas melalui kontak langsung dengan udara dingin, mengakibatkan penguapan. Proses ini menyebabkan kehilangan air (*losses*) dalam bentuk *evaporation loss* dan *blowdown*, yang berdampak pada kapasitas pendinginan peralatan produksi.

Pada penelitian ini digunakan metode analisis melibatkan perhitungan matematis berdasarkan data pengukuran aktual serta perbandingan dengan data terdahulu untuk memberikan gambaran komprehensif tentang performa aktual *cooling tower*, faktor-faktor yang mempengaruhi performanya, serta rekomendasi untuk optimasi sistem. Secara spesifik pendekatan menggunakan parameter meliputi *range*, *approach*, efektivitas pendinginan, *evaporation loss*, dan kapasitas pendinginan[11].

Penelitian ini bertujuan menganalisis komprehensif performa *cooling tower*, mengoptimalkan sistem pendinginan melalui performa seperti *range*, *approach*, dan efektivitas pendinginan, dengan harapan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan pengetahuan di bidang sistem pendinginan industri serta panduan praktis untuk peningkatan efisiensi operasional *cooling tower*.

2.0 METODE

Berikut alur penelitian dalam bentuk *flowchart*, sebagai berikut



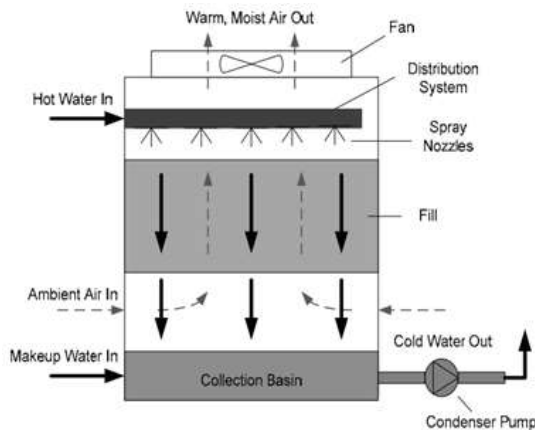
Gambar 1: Flow Chart

Pada tahap awal penelitian dilakukan pengamatan secara komprehensif untuk mengidentifikasi permasalahan utama yang terjadi pada sistem *cooling tower*. Pengamatan difokuskan pada beberapa parameter kinerja utama yang memengaruhi performa sistem, yaitu efektivitas pendinginan, laju evaporasi, dan kapasitas pendinginan (*cooling capacity*, *Q*). Ketiga parameter tersebut digunakan sebagai dasar untuk mengevaluasi kondisi operasi *cooling tower* serta menentukan potensi perbaikan yang dapat dilakukan.

Tahap selanjutnya adalah studi literatur yang meliputi pengumpulan dan analisis berbagai sumber referensi yang relevan, seperti buku teks, artikel ilmiah, dan jurnal teknis yang berkaitan dengan sistem *cooling tower* pada pembangkit listrik (*power plant*). Studi literatur ini bertujuan untuk memperoleh pemahaman teoritis mengenai prinsip kerja, karakteristik, serta jenis-jenis *cooling tower*. Salah satu tipe *cooling tower* yang banyak digunakan adalah *induced draft counter flow cooling tower*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, di mana kipas pendingin ditempatkan di bagian atas menara untuk menghisap udara panas ke atas setelah terjadi pertukaran panas dengan air.

Pada *cooling tower* tipe *counter flow*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, air panas disemprotkan dari nozzle ke *fill pack* yang berada di bagian tengah menara, sementara udara pendingin dihisap oleh kipas induksi dari bagian bawah dan mengalir berlawanan arah dengan aliran air. Proses ini memungkinkan terjadinya pertukaran

panas yang efektif antara air dan udara. Air yang telah mengalami penurunan temperatur kemudian ditampung di bak penampung sebelum dialirkan kembali ke kondensor. Sistem cooling tower ini terdiri dari beberapa komponen utama, antara lain sistem kipas aksial, sistem distribusi air berupa nozzle sprinkler, fill pack sebagai media penukar panas, drift eliminator untuk mencegah kehilangan air ke atmosfer, sistem pengelolaan air termasuk make-up water dan blowdown, sistem sirkulasi dengan pompa ICW, serta sistem pengolahan kimia untuk menjaga kualitas air [12] [13].



Gambar 2: Induced Draft Counter Flow

2.1. Performa Cooling tower

Parameter kinerja utama pada cooling tower meliputi range dan approach. Range merupakan selisih antara temperatur air masuk (T_{in}) dan temperatur air keluar (T_{out}) dari menara pendingin, yang dihitung menggunakan Persamaan (1). Sementara itu, approach didefinisikan sebagai perbedaan antara temperatur air keluar (T_{out}) dan temperatur wet bulb lingkungan (T_{wb}), sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (2). Kedua parameter ini menjadi indikator penting dalam menilai kemampuan pendinginan menara pendingin.

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

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

Efektivitas pendinginan (*cooling tower effectiveness*) ditentukan berdasarkan perbandingan antara range dan selisih temperatur total, yaitu penjumlahan antara range dan approach. Perhitungan efektivitas dilakukan menggunakan Persamaan (3), yang dinyatakan dalam satuan persen. Nilai efektivitas yang tinggi menunjukkan kinerja pendinginan yang semakin baik, karena air keluar mendekati temperatur wet bulb lingkungan [14].

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

Selain parameter temperatur, kehilangan air akibat proses penguapan (*evaporation loss*) juga menjadi faktor penting dalam operasi *cooling tower*. Kehilangan air ini dihitung menggunakan persamaan (4), yang dipengaruhi oleh laju sirkulasi air dan perbedaan temperatur air masuk dan keluar. Proses penguapan menyebabkan peningkatan

konsentrasi zat terlarut dalam air sirkulasi, yang dinyatakan sebagai *cycle of concentration*. Untuk mengendalikan peningkatan konsentrasi tersebut, dilakukan proses *blowdown*, yaitu pembuangan sebagian air pendingin sesuai Persamaan (5). Air yang hilang akibat evaporasi dan *blowdown* kemudian digantikan oleh air *make-up*, yang jumlahnya dihitung menggunakan Persamaan (6) [14].

$$E = 0,00085 \times 1,8 \times RR \times (T_{in} - T_{out}) \quad (4)$$

$$B = \frac{Evaporation}{(Cycle\ of\ Concentration - 1)} \quad (5)$$

$$M = Evaporation\ Loss + Blowdown \quad (6)$$

Kapasitas pendinginan (*cooling capacity*) merupakan jumlah panas yang dapat dibuang oleh cooling tower dan dinyatakan dalam satuan kKal/jam atau kW. Kapasitas ini dihitung berdasarkan laju aliran massa air (m), panas spesifik air (C_p), dan perbedaan temperatur (Δt), sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (7). Nilai kapasitas pendinginan mencerminkan kemampuan sistem dalam membuang panas dari proses atau peralatan yang didinginkan [15].

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta t \quad (7)$$

2.2. Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data dilaksanakan dengan interval waktu setiap 4 jam selama periode 1–30 November 2024. Untuk memperkaya analisis, data historis dari tanggal 13 Agustus 2015 dan 5 Januari 2021 digunakan sebagai referensi pembandingan. Metode pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung di lapangan dengan pencatatan *logsheets* serta pengambilan data dari *Distributed Control System* (DCS).

Analisis data bertujuan untuk mengevaluasi perubahan performa cooling tower selama beroperasi pada kondisi aktual dibandingkan dengan kondisi desain. Pengolahan data dilakukan menggunakan Microsoft Excel untuk menghitung parameter performa *cooling tower*, meliputi *range*, *approach*, efektivitas, *evaporation loss*, *blowdown*, *make-up*, kapasitas pendinginan (Q), dan laju aliran massa (m). Hasil perhitungan kemudian dibandingkan antara kondisi awal dan akhir periode pengamatan untuk menilai kesesuaian operasi *cooling tower* terhadap spesifikasi yang ditetapkan. Selain itu, dibuat *trendline performa cooling tower* untuk menggambarkan pola perubahan kinerja berdasarkan data historis.

Tahap akhir penelitian adalah evaluasi hasil analisis untuk menarik kesimpulan dan merumuskan rekomendasi. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan parameter performa dengan referensi desain *cooling tower*. Apabila ditemukan penurunan performa, dilakukan analisis untuk mengidentifikasi faktor penyebabnya. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi yang aplikatif guna meningkatkan kinerja *cooling tower* pada *power plant* PT. X.

3.0 HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil penelitian ini diperoleh dari pengukuran performa *cooling tower* di PT. X selama periode 1 November 2024 hingga 30 November 2024, yang meliputi data rata-rata temperatur harian, data tren harian, serta data perbandingan temperatur. Selain itu, dilakukan perhitungan efektivitas *cooling tower* berdasarkan data penelitian pada periode yang sama, dengan hasil perhitungan efektivitas tersebut disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1 : Hasil perhitungan Efektivitas November 2024

Tanggal	Load (MW)	T _{in} °C	T _{out} °C	T _{wb} °C	Range °C	Approach °C	Efektivitas (%)
11/01/2024	10.24	39.36	32.92	26.56	6.44	6.36	50.3
11/02/2024	10.24	38.52	32.03	25.32	6.49	6.71	49.2
11/03/2024	10.25	38.48	32.20	25.76	6.27	6.44	49.3
11/04/2024	10.39	38.55	32.08	25.67	6.47	6.41	50.2
11/05/2024	10.49	38.33	31.76	25.05	6.57	6.71	49.5
11/06/2024	10.44	38.42	31.92	25.43	6.50	6.49	50.1
11/07/2024	10.51	38.80	32.06	25.75	6.73	6.31	51.6
11/08/2024	10.44	38.64	32.02	25.63	6.62	6.39	50.9
11/09/2024	10.45	38.31	31.48	24.71	6.83	6.77	50.2
11/10/2024	10.30	38.78	32.38	26.21	6.41	6.18	50.9
11/11/2024	10.42	38.75	32.42	26.14	6.33	6.28	50.2
11/12/2024	10.28	38.68	32.59	26.37	6.09	6.22	49.5
11/13/2024	10.27	38.00	31.98	26.36	6.02	5.62	51.7
11/14/2024	10.05	37.85	32.15	28.35	5.70	3.80	60.0
11/15/2024	10.16	37.73	31.82	28.88	5.91	2.94	66.8
11/16/2024	10.26	37.98	32.05	29.04	5.93	3.01	66.3
11/17/2024	10.38	38.01	31.99	29.09	6.02	2.90	67.5
11/18/2024	10.39	38.16	32.16	29.15	6.00	3.01	66.6
11/19/2024	10.31	37.81	32.13	29.08	5.69	3.05	65.1
11/20/2024	10.36	38.14	32.10	29.05	6.04	3.05	66.5
11/21/2024	10.39	37.89	32.16	28.84	5.73	3.32	63.3
11/22/2024	10.29	37.92	32.30	29.02	5.62	3.29	63.1
11/23/2024	10.20	37.67	31.85	28.94	5.83	2.91	66.7
11/24/2024	10.27	37.89	32.12	29.21	5.78	2.91	66.5
11/25/2024	10.40	38.45	32.60	29.76	5.85	2.84	67.3
11/26/2024	10.16	38.11	32.26	29.22	5.85	3.04	65.8
11/27/2024	10.17	37.65	31.93	28.76	5.71	3.17	64.3
11/28/2024	8.35	31.07	26.37	23.85	4.70	2.52	65.1
11/29/2024	9.55	36.81	31.68	28.65	5.12	3.04	62.8
11/30/2024	9.97	37.61	31.87	28.84	5.73	3.03	65.4

Tabel 2 menyajikan data *make up water* dan kapasitas pendinginan (Q) *cooling tower* selama bulan November 2024 yang dicatat secara harian. Data yang ditampilkan meliputi tanggal pengamatan, laju evaporasi (m³/jam), *blowdown* (m³/jam), *make up* (m³/jam), serta kapasitas

pendinginan dalam satuan kW. Secara umum, nilai *make up water* merupakan akumulasi kebutuhan air akibat proses evaporasi dan *blowdown*, yang menunjukkan variasi harian seiring perubahan kondisi operasi *cooling tower*. Kapasitas pendinginan (Q) juga mengalami fluktuasi sepanjang periode pengamatan, mencerminkan perbedaan beban panas yang harus dilepaskan oleh sistem pada setiap hari. Data ini digunakan sebagai dasar analisis kinerja dan efektivitas *cooling tower* selama periode penelitian.

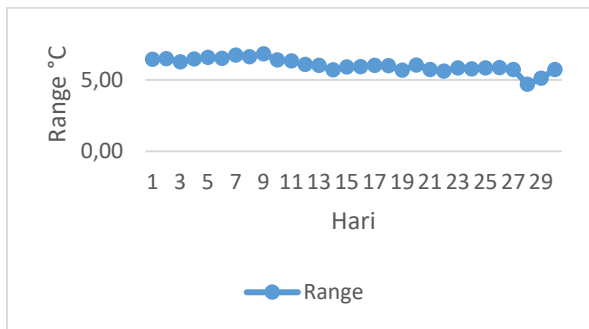
Tabel 2: *Make Up Water* & Kapasitas Pendingin November 2024

Tanggal	Evaporasi (m ³ /jam)	Blowdown (m ³ /jam)	MakeUp (m ³ /jam)	Q (kW)
11/01/2024	41.4	4.60	45.97	31397.61
11/02/2024	41.7	4.63	46.33	31641.44
11/03/2024	40.3	4.48	44.79	30592.96
11/04/2024	41.6	4.62	46.21	31560.16
11/05/2024	42.2	4.69	46.89	32023.45
11/06/2024	41.8	4.64	46.43	31714.59
11/07/2024	43.3	4.81	48.09	32844.35
11/08/2024	42.5	4.73	47.25	32275.40
11/09/2024	43.9	4.88	48.78	33315.76
11/10/2024	41.2	4.57	45.73	31235.05
11/11/2024	40.7	4.52	45.20	30869.30
11/12/2024	39.1	4.35	43.48	29698.90
11/13/2024	38.7	4.30	42.97	29349.41
11/14/2024	36.6	4.07	40.72	27813.26
11/15/2024	38.0	4.22	42.20	28821.10
11/16/2024	38.1	4.24	42.35	28926.76
11/17/2024	38.7	4.30	43.01	29373.79
11/18/2024	38.6	4.29	42.85	29268.13
11/19/2024	36.5	4.06	40.59	27723.85
11/20/2024	38.8	4.31	43.15	29471.32
11/21/2024	36.8	4.09	40.91	27943.30
11/22/2024	36.1	4.01	40.13	27406.87
11/23/2024	37.4	4.16	41.60	28414.71
11/24/2024	37.1	4.12	41.23	28162.75
11/25/2024	37.6	4.17	41.73	28504.12
11/26/2024	37.6	4.18	41.76	28520.37
11/27/2024	36.7	4.08	40.79	27862.02
11/28/2024	30.2	3.35	33.55	22912.21
11/29/2024	32.9	3.66	36.58	24984.79
11/30/2024	36.8	4.09	40.94	27959.56

3.1. Analisis Efektivitas

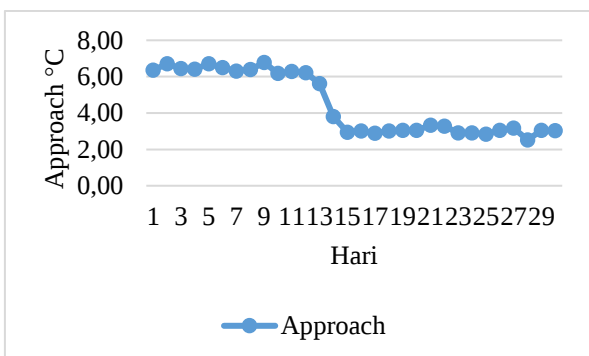
Perhitungan *range* temperatur dilakukan berdasarkan selisih antara temperatur masuk (T_{in}) dan temperatur keluar (T_{out}) *cooling tower*. Sebagai contoh, pada tanggal 1 November 2024 diperoleh temperatur masuk sebesar 39,36 °C dan temperatur keluar sebesar 32,92 °C, sehingga nilai *range* temperatur dihitung sebagai selisih antara keduanya, yaitu 6,44 °C.

Berdasarkan hasil perhitungan dan penyajian pada Gambar 3, nilai *range* temperatur selama periode pengamatan menunjukkan fluktuasi yang relatif stabil. Nilai *range* tertinggi tercatat sebesar 6,83 °C pada hari ke-9, sedangkan nilai terendah sebesar 4,70 °C terjadi pada hari ke-28. Rata-rata *range* temperatur selama periode penelitian adalah sebesar 6,03 °C. Variasi nilai *range* ini mencerminkan dinamika operasional sistem pendinginan serta dipengaruhi oleh faktor eksternal, seperti kondisi cuaca dan kualitas air pendingin.



Gambar 3 : Grafik Range

Perhitungan *approach* dilakukan berdasarkan selisih antara temperatur keluar *cooling tower* (T_{out}) dan temperatur *wet bulb*. Sebagai contoh, pada tanggal 1 November 2024 diperoleh temperatur *wet bulb* sebesar 26,56 °C dan temperatur keluar *cooling tower* sebesar 32,92 °C, sehingga nilai *approach* adalah 6,36 °C. Berdasarkan Gambar 4, nilai *approach* selama periode pengamatan menunjukkan variasi yang cukup signifikan, dengan nilai tertinggi sebesar 6,77 °C yang terjadi pada hari ke-9 dan nilai terendah sebesar 2,52 °C pada hari ke-28. Rata-rata nilai *approach* selama periode penelitian tercatat sebesar 4,40 °C. Nilai *approach* yang lebih rendah menunjukkan kinerja perpindahan panas yang lebih baik, sehingga variasi ini mencerminkan perubahan efisiensi operasi *cooling tower* selama periode pengamatan.



Gambar 4: Grafik Approach

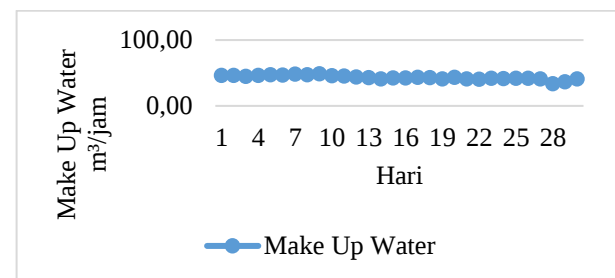
Perhitungan efektivitas *cooling tower* dilakukan berdasarkan data rata-rata pada tanggal 1 November 2024, dengan nilai *range* sebesar 6,44 °C dan *approach* sebesar 6,36 °C, sehingga diperoleh efektivitas sebesar 50,3%. Berdasarkan Gambar 5, efektivitas sistem pendinginan selama periode pengamatan menunjukkan tren yang bervariasi dengan nilai berkisar antara 49,2% hingga 67,5%. Rata-rata efektivitas selama periode penelitian tercatat sebesar 58,7%. Pada minggu pertama, efektivitas relatif rendah di kisaran 50%, kemudian pada minggu kedua dan ketiga terjadi peningkatan yang signifikan hingga mencapai nilai maksimum sebesar 67,5%, sementara pada minggu keempat efektivitas cenderung stabil pada level sekitar 65%. Variasi ini mencerminkan perubahan kinerja *cooling tower* yang dipengaruhi oleh kondisi operasional dan lingkungan selama periode pengamatan.



Gambar 5: Grafik Efektivitas

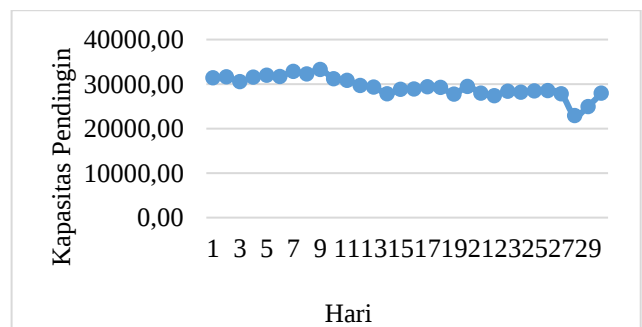
3.2. Analisis Make Up Water dan Kapasitas Pendingin

Berdasarkan data pada Gambar 6, analisis terhadap *make-up water* yang dilakukan pada tanggal 1 November 2024 menunjukkan hasil perhitungan sebesar $M = 41,4 + 4,60 = 45,97 \text{ m}^3/\text{jam}$. Secara keseluruhan, kebutuhan *make-up water* tersebut bervariasi antara 33,55 m^3/jam hingga 48,78 m^3/jam dengan nilai rata-rata sebesar 43,07 m^3/jam . *Make-up water* ini berfungsi sebagai air tambahan untuk menggantikan volume air yang hilang selama proses pendinginan di *cooling tower*, di mana kehilangan tersebut utamanya disebabkan oleh faktor penguapan (*evaporation loss*) dan pembuangan air (*blowdown*).



Gambar 6 : Grafik Make Up Water

Berdasarkan data operasional yang disajikan pada Gambar 7, analisis kapasitas pendingin pada tanggal 1 November 2024 menunjukkan hasil sebesar 29.455,07 kW. Secara keseluruhan, kapasitas pendingin sistem menunjukkan variasi yang signifikan dengan rentang antara 22.912,21 kW hingga 33.315,76 kW, serta nilai rata-rata sebesar 29.419,58 kW. Besarnya nilai kapasitas pendingin ini dipengaruhi oleh debit air dan perubahan suhu (Δt), di mana semakin tinggi perubahan suhu yang terjadi, maka kapasitas pendinginan yang dihasilkan akan semakin tinggi pula.



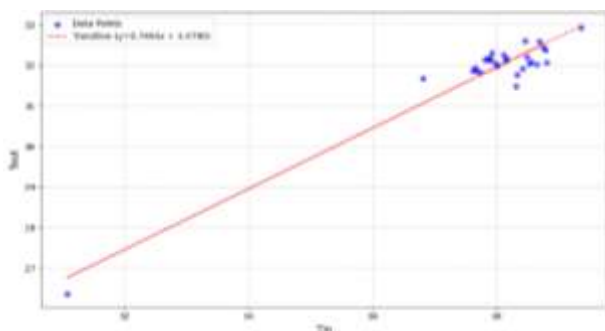
Gambar 7: Grafik Kapasitas Pendingin

3.3. Korelasi Temperatur

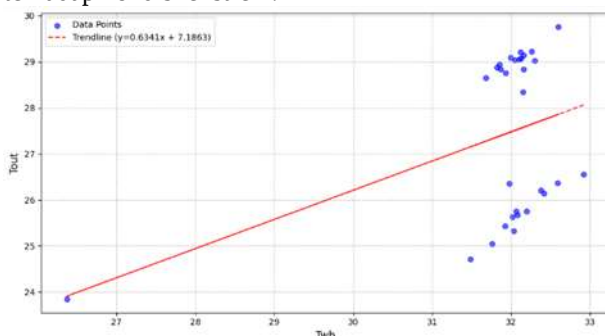
Table 3: Korelasi Temperatur

	T_{in}	T_{out}	T_{wb}
T_{in}	1,000	0,958	0,147
T_{out}	0,958	1,000	0,385
T_{wb}	0,147	0,385	1,000

Analisis korelasi pada Tabel 3 menunjukkan bahwa meskipun T_{wb} memiliki angka korelasi yang lebih rendah terhadap temperatur air (T_{in} dan T_{out}) dibandingkan hubungan antara air itu sendiri, variabel ini memegang peran krusial dalam efisiensi energi sistem. Nilai T_{wb} yang rendah mengindikasikan kapasitas udara untuk menyerap uap air masih tinggi, yang secara langsung memperluas gradien suhu dan mempercepat proses perpindahan panas laten melalui penguapan. Secara teknis, semakin jauh jarak antara temperatur air keluar (T_{out}) dengan T_{wb} (sering disebut sebagai *approach*), maka beban kerja mekanis pada kipas *cooling tower* dan pompa dapat dioptimalkan. Sebaliknya, ketika T_{wb} meningkat dan mendekati temperatur air, efisiensi pendinginan akan menurun drastis karena keterbatasan kemampuan udara dalam menyerap panas, yang memaksa sistem bekerja lebih keras untuk mencapai target pendinginan yang sama.

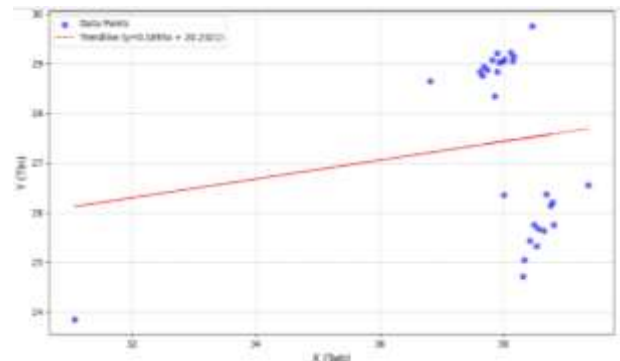
Gambar 8 : Scatter Plot L T_{in} VS T_{out}

Berdasarkan Plot gambar 8 menunjukkan hasil *scatter* antara T_{in} dan T_{out} menampilkan pola korelasi kuat (0,958) antara T_{in} - T_{out} yang menunjukkan performa *cooling tower* dengan konsisten. Data terkonsentrasi pada T_{in} 37-39°C dan T_{out} 31-33°C, dengan satu *outlier* di T_{in} 31°C dan T_{out} 26°C yang mengindikasikan respon sistem terhadap kondisi ekstrem.

Gambar 9 : Scatter Plot T_{out} VS T_{wb}

Pada Gambar 9, hubungan antara temperatur air keluar (T_{out}) dengan temperatur bola basah (T_{wb}) menunjukkan

korelasi yang lemah dengan nilai 0.385 antara T_{out} - T_{wb} menandakan bahwa performa *cooling tower* dipengaruhi oleh *multiple* faktor termasuk kelembaban udara dan kondisi atmosfer, bukan hanya temperatur air. Hal ini normal untuk sistem *induced draft counter flow*.

Gambar 10: Scatter Plot T_{in} VS T_{wb}

Pada Gambar 10 menunjukkan korelasi paling lemah ditemukan antara temperatur bola basah (T_{wb}) dengan temperatur air masuk (T_{in}) sebesar 0.147 antara T_{in} - T_{wb} mengindikasikan independensi antara temperatur bola basah dan temperatur air masuk. Ini menunjukkan bahwa sistem dapat beroperasi efektif pada berbagai kondisi temperatur bola basah, yang merupakan karakteristik positif dari *cooling tower*.

3.4. Perbandingan terhadap data awal

Tabel 4: Data *Cooling tower* 13 Agustus 2015

Equipment	T_{in} °C	T_{out} °C	Δt	Load (MW)
Rata-rata	32,59	29,81	2,78	3,61

Berdasarkan komparasi data pada Tabel 4, terlihat bahwa pada awal masa operasinya di tahun 2015, *cooling tower* bekerja dengan beban panas (*load*) yang relatif rendah, yaitu rata-rata sebesar 3,61 MW. Kondisi beban rendah ini berkorelasi langsung dengan selisih temperatur (Δt) yang kecil, yakni hanya sebesar 2,78 °C, yang mengindikasikan bahwa kapasitas pendinginan sistem belum dimanfaatkan secara optimal pada periode tersebut. Jika dibandingkan dengan data operasional terbaru pada Gambar 6, di mana kapasitas pendinginan rata-rata saat ini telah mencapai 29.419,58 kW (atau setara 29,42 MW), terlihat adanya peningkatan beban kerja yang signifikan seiring dengan peningkatan kebutuhan pendinginan sistem. Hal ini menegaskan bahwa efisiensi dan performa *cooling tower* sangat bergantung pada fluktuasi beban termal dan debit air yang dikelola, di mana nilai Δt yang lebih besar pada data terbaru mencerminkan proses pelepasan panas yang lebih intensif dibandingkan kondisi awal operasi.

Table 5: Data *Cooling tower* 05 Januari 2021

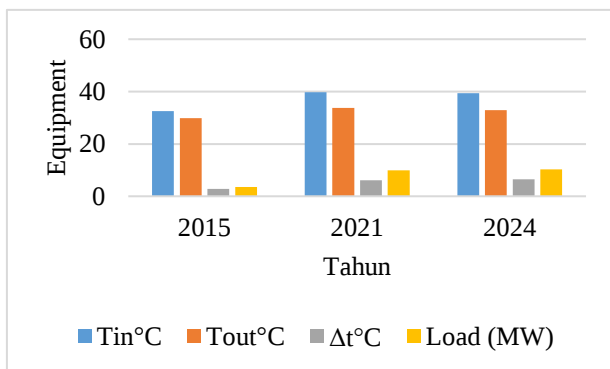
Equipment	T_{in} °C	T_{out} °C	Δt	Load (MW)
Rata-rata	39,79	33,71	6,08	9,92

Tabel 5 menunjukkan terjadi peningkatan signifikan pada beban hingga mendekati 10 MW. Hal ini menyebabkan peningkatan temperatur in karena beban *thermal* yang lebih tinggi, Δt meningkat menjadi 6.08°C , menunjukkan *cooling tower* bekerja lebih optimal dalam membuang panas, Temperatur out juga meningkat sebagai konsekuensi dari beban *thermal* yang lebih tinggi

Table 6: Data *cooling tower* 01 November 2024

Equipment	$T_{in}^{\circ}\text{C}$	$T_{out}^{\circ}\text{C}$	Δt	Load (MW)
Rata-rata	39.36	32.92	6.44	10.24

Pada tahun 2024, terlihat pada tabel 6 beberapa tren seperti *load* sedikit meningkat dibanding 2021, Δt tertinggi (6.44°C) menunjukkan *cooling tower* bekerja paling optimal, T_{in} sedikit menurun dibanding 2021 meski beban lebih tinggi, menunjukkan kemungkinan adanya perbaikan efisiensi sistem, T_{out} juga menurun, mengindikasikan performa pendinginan yang lebih baik



Gambar 11: Diagram Balok Data Awal

Gambar 11 memberikan perbandingan performa *cooling tower* yang semakin baik dari tahun ke tahun, dengan kemampuan membuang panas (ditunjukkan oleh Δt) yang meningkat signifikan dari 2015 ke 2021, dan sedikit meningkat lagi di 2024. Meski beban meningkat hingga 10 MW lebih, sistem mampu menjaga temperatur keluar tetap terkendali, menunjukkan *cooling tower* beroperasi dengan efektif.

4.0 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pendekatan pengukuran komprehensif yang diterapkan berhasil memberikan penilaian yang akurat terhadap performa *cooling tower*. Metode pengumpulan data pada interval 4 jam selama satu bulan efektif dalam menganalisis parameter operasional sistem.

Cooling tower menunjukkan performa yang baik dengan efektivitas rata-rata 58,7%, rentang pendinginan $6,03^{\circ}\text{C}$, dan kapasitas pendinginan rata-rata 29.420 kW. Korelasi kuat (0,958) antara temperatur air masuk dan keluar mengindikasikan perpindahan panas yang konsisten, sementara korelasi lebih lemah dengan kondisi lingkungan menunjukkan kemampuan sistem mempertahankan efektivitas pada berbagai kondisi atmosfer. Temuan ini memberikan dasar yang kuat untuk

optimasi sistem di masa mendatang dan pengembangan strategi pengendalian yang lebih efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. T. Budisantoso, Suprpto, and Sutadi, "Kinerja instalasi pendingin siklotron decy-13," *Pros. Pertem. dan Present. Ilm. Teknol. Akselerator dan Apl.*, vol. 17, no. November, pp. 50–55, 2015.
- [2] Firman Manahan Panjaitan and I. Z. Putra, "Analisis Pengaruh Temperatur Ambient Terhadap Kinerja *Cooling tower* Unit 2 Berdasarkan Evaluasi Range dan Approach pada PLTGU PT Mitra Energi Batam," *J. Integr.*, vol. 17, no. 1, pp. 32–39, 2025, doi: 10.30871/ji.v17i1.9344.
- [3] L. P. I. Midiani, I. W. Temaja, I. P. M. Adnyana, I. K. Dwiana, and I. M. P. Yoga, "Analisa kinerja *cooling tower* tipe counter flow induced draft," *J. Appl. Mech. Eng. Green Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 72–77, 2021, doi: 10.31940/jametechn.v2i2.2712.
- [4] Y. Cui, L. Xia, Y. Huang, and X. Ma, "Research on Fault Diagnosis and Early Warning of Power Plant Boiler Reheater Temperature Deviation Based on Machine Learning Algorithm," in *2020 IEEE 6th International Conference on Control Science and Systems Engineering (ICCSSE)*, 2020, pp. 212–216, doi: 10.1109/ICCSSE50399.2020.9171950.
- [5] S. Wahyu, A. Mustain, and M. A. Rizky, "Analisa Perhitungan Efisiensi *Cooling tower* 32 T 821 Pada Utilitas Ii Produksi Ii B Pt Petrokimia Gresik," *DISTILAT J. Teknol. Separasi*, vol. 9, no. 1, pp. 114–119, 2023, doi: 10.33795/distilat.v9i1.520.
- [6] D. Eswaravellu and I. M. Said Al-Maashani, "Thermodynamic Analysis of *Cooling tower* Performance in Dhofar Region Power Plants," in *2024 2nd International Conference on Computing and Data Analytics (ICCCA)*, 2024, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICCCA64887.2024.10867298.
- [7] M. A. A. J, A. Asrina, A. Ardiansah, and I. Nuhardin, "Evaluasi Kinerja *Cooling tower* Type Induced Draft Counter Flow Pada Sirkulasi Air Jernih Industri Baja," *J. Chem. Process Eng.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–10, 2024, doi: 10.33096/jcpe.v9i1.732.
- [8] R. V. D. P.E and M. S. P.E, "Improving Cooling Performance of Gas Conditioning Towers/Downcomers to Reduce Plant Emissions," in *2021 IEEE-IAS/PCA Cement Industry Conference (IAS/PCA)*, 2021, pp. 1–4, doi: 10.1109/IAS/PCA50164.2021.10143789.
- [9] J. Amin, H. Li, Y. Zhiqiang, J. Li, G. Yin, and Z. Qinggang, "Experiment Study on Tower Cooling Energy-Saving Technology," in *2011 International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring*, 2011, pp. 728–730, doi: 10.1109/CDCIEM.2011.582.
- [10] A. S. Anugrah, F. A. Firmansyah, R. A.

- Ilhamsyah, and M. F. Umam, “Analisis Kinerja Natural Draft *Cooling tower* di Unit Kilang Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi,” *Maj. Ilm. Swara Patra*, vol. 11, no. 1, pp. 1–13, 2021, doi: 10.37525/sp/2021-1/270.
- [11] M. Rahmati, S. R. Alavi, and A. Sedaghat, “Thermal performance of natural draft wet *cooling towers* under cross-wind conditions based on experimental data and regression analysis,” in *2016 6th Conference on Thermal Power Plants (CTPP)*, 2016, pp. 1–5, doi: 10.1109/CTPP.2016.7482925.
- [12] M. Ghinaul Qalbi, B. Suharto, and S. Wuryanti, “Analisis Efektivitas *Cooling tower* Sebelum dan Sesudah Pergantian Filler Pack,” *J. Surya Tek.*, vol. 11, no. 1, pp. 394–399, 2024.
- [13] R. Rahman and A. Mursadin, “Analisis Kinerja *Cooling tower* Menggunakan Metode Range Dan Approach Di Pltu Asam-Asam,” *Jtam Rotary*, vol. 4, no. 2, p. 129, 2022, doi: 10.20527/jtam_rotary.v4i2.6411.
- [14] R. M. G. C. Sinaga, S. F. Dina, and H. Darmadi, “Besarnya Laju Perpindahan Panas Pada Heat Exchanger Tipe Plate Dengan Menggunakan Aliran Fluida Chiller Di Pt. Abc,” *J. Mek. Instrumentasi List. dan Otomasi*, vol. 1, no. 1, pp. 15–25, 2024.
- [15] E. Novianarenti and G. Setyono, “Peningkatan Performansi *Cooling tower* Tipe Induced Draft Counter Flow Menggunakan Variasi Bentuk Filler,” *R.E.M (Rekayasa Energi Manufaktur) J.*, vol. 4, no. 1, 2019, doi: 10.21070/r.e.m.v4i1.1766.