

ANALISA PERPINDAHAN PANAS *COOLING TOWER* (*INDUCED DRAFT*) PLTU I PULANG PISAU (2 x 60 MW)

I Komang Gede Sastrawan¹⁾, Rachmat Subagyo²⁾

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat

Jl. Akhmad Yani Km 35,5 Banjarbaru, Kalimantan Selatan, 70714

Email: sastrawanagas@gmail.com

Abstract

The study aims to determine the heat transfer and performance of cooling tower Pulang Pisau I Power Plant (2 x 60 MW) by comparing the result data obtained during commissioning and 2018. Pulang Pisau I Power Plant (2 x 60 MW) is a power plant using a closed cooling system with the cooling tower. Cooling tower in a power plant have a very important role, as the main cooling media to keep the condenser temperature stable. Cooling tower is one of the heat transfer equipment in a power plant. In Pulang Pisau I Power Plant (2 x 60 MW), cooling tower performance needs to be examined and analyzed how heat transfer and efficiency are to get some input to improve / maintain the performance of the cooling tower. The highest rate of heat transfer from Pulang Pisau - Daya PLTU I 2 x 60 MW cooling tower occurred on December 2nd, 2018 at 06.00 WIB, a load of 51.0 MW which was 6.883 kW and the lowest occurred on November 24th, 2018 at 15.00 WIB, 14.6 MW which was 2.752 kW. Average efficiency value of 71%.

Keyword: Cooling Tower, Analysis, Heat Transfer

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perpindahan panas dan kinerja menara pendingin Pembangkit Listrik Pulang Pisau I (2 x 60 MW) dengan membandingkan data hasil yang diperoleh selama komisioning dan 2018. Pembangkit Listrik Pulang Pisau I (2 x 60 MW) merupakan pembangkit listrik menggunakan sistem pendingin tertutup dengan menara pendingin. Menara pendingin pada suatu pembangkit listrik memiliki peran yang sangat penting, sebagai media pendingin utama untuk menjaga kestabilan suhu kondensor. Cooling tower merupakan salah satu peralatan perpindahan panas pada suatu pembangkit listrik. Di Pembangkit Listrik Pulang Pisau I (2 x 60 MW), kinerja menara pendingin perlu dikaji dan dianalisis bagaimana perpindahan panas dan efisiensinya untuk mendapatkan masukan guna meningkatkan / mempertahankan kinerja menara pendingin. Laju perpindahan panas tertinggi dari Pulang Pisau - PLTU Daya I 2 x 60 MW menara pendingin terjadi pada tanggal 2 Desember 2018 pukul 06.00 WIB, beban 51,0 MW yaitu 6.883 kW dan terendah terjadi pada tanggal 24 November 2018 pukul 15.00 WIB. , 14,6 MW yang merupakan 2,752 kW. Nilai efisiensi rata-rata 71%.

Kata kunci: Menara Pendingin, Analisis, Perpindahan Panas

PENDAHULUAN

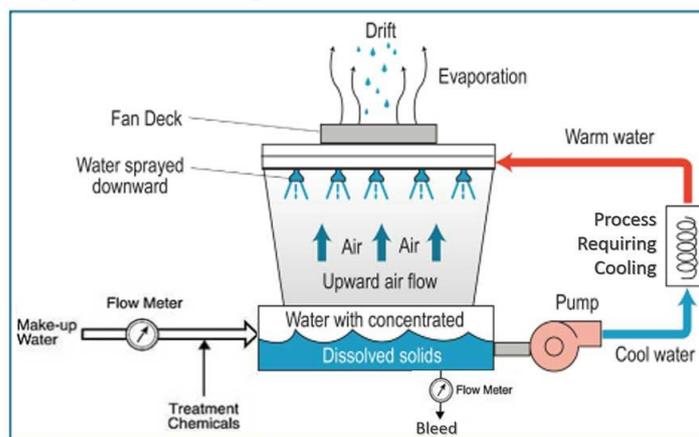
Sistem pembangkit listrik yang dikenal ada beberapa jenis salah satu diantaranya adalah pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Pembangkit listrik jenis ini menggunakan uap bertekanan tinggi untuk memutar turbin, yang dihubungkan dengan poros untuk menggerakkan generator sehingga menghasilkan energi listrik. Energi Listrik ini kemudian disalurkan ke jaringan distribusi menuju konsumen. Performa suatu PLTU sangat ditentukan oleh keandalan masing-masing *equipment* yang bekerja didalamnya. PLTU I Pulang Pisau – Daya 2 x 60 MW merupakan PLTU menggunakan sistem pendingin tertutup dengan *equipment* PLTU tersebut menggunakan *cooling tower*. *Cooling tower* di sebuah PLTU berperan sangat penting yakni sebagai media pendingin utama untuk menjaga temperatur pada *condenser* tetap stabil. *Cooling tower* merupakan salah satu peralatan pemindah kalor pada sebuah PLTU.

Pada PLTU I Pulang Pisau - Daya 2 x 60 MW, performa *cooling tower* perlu diteliti dan dianalisa terkait dengan kinerja perpindahan panasnya, untuk melakukan tindakan-tindakan pencegahan supaya tidak terjadi efek yang lebih besar terhadap kinerja PLTU secara keseluruhan. Analisa yang mungkin dilakukan untuk mengetahui performa *cooling tower* yaitu dengan cara melakukan pengukuran temperatur pada bagian-bagian tertentu dari *cooling tower* tersebut.

Setelah dilakukan penelitian ini diharapkan dapat memberi nilai positif untuk peningkatan performa *cooling tower* PLTU I Pulang Pisau – Daya 2 x 60 MW sehingga secara umum kinerja PLTU meningkat. Hal lain yang lebih penting adalah dapat memberikan saran yang berguna untuk tindakan-tindakan pencegahan, perbaikan ataupun mempertahankan kinerja *cooling tower* tersebut tetap dalam kondisi yang baik dan handal dalam melayani kebutuhan listrik masyarakat luas.

Prinsip Kerja *Cooling Tower*

Cooling tower adalah suatu sistem refrigerasi yang melepaskan kalor ke udara. *Cooling tower* bekerja dengan cara mengontakkan air dengan udara dan menguapkan sebagian air tersebut. Luas permukaan air yang besar dibentuk untuk menyembrotkan air lewat *nozzle* atau memercikan air kebawah dari suatu bagian ke bagian lainnya. Bagian-bagian atau bahan – bahan pengisi biasanya terbuat dari kayu tetapi bisa juga dibuat dari plastik atau keramik.



Gambar 1. Diagram Skematika *Cooling tower*

Ada banyak klasifikasi *cooling tower*, namun pada umumnya pengklasifikasian dilakukan berdasarkan sirkulasi air yang terdapat di dalamnya. *Cooling tower* dapat diklasifikasikan atas tiga bagian, yaitu:

1. Menara pendingin basah (*Wet cooling tower*).
2. Menara pendingin kering (*Dry cooling tower*).
3. Menara pendingin campuran (*Wet - dry cooling tower*).

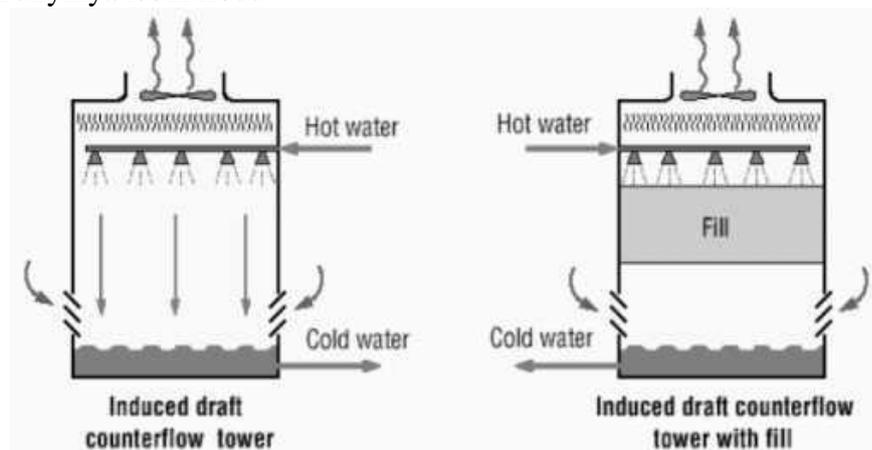
Mechanical Draft Cooling Tower

Sistem *mechanical draft cooling tower* dilengkapi dengan satu atau beberapa kipas (*fan*) yang digerakkan secara mekanik sehingga dapat mengalirkan udara. Berdasarkan fungsi kipas yang digunakan *cooling tower* aliran angin mekanik dapat dibagi menjadi 2 jenis yaitu:

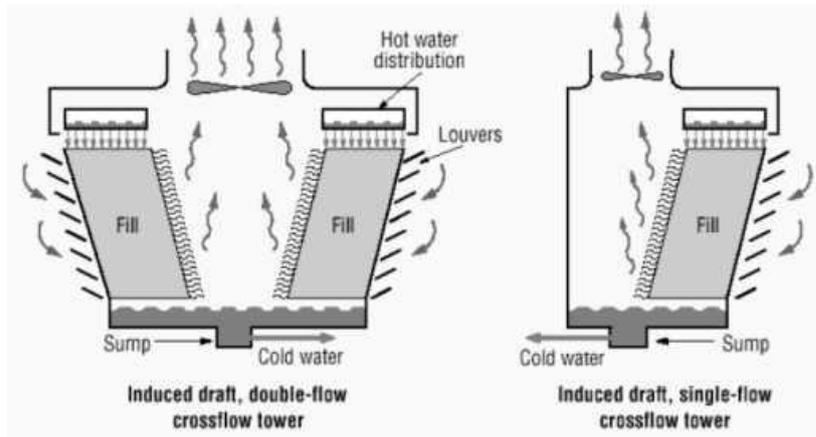
1. Tipe aliran angin dorong (*forced draft*).
2. Tipe aliran angin tarik (*induced draft*).

Aliran udara masuk menara pada dasarnya horizontal, tetapi aliran di dalam bahan pengisi ada yang horizontal seperti yang terdapat pada *cooling tower* aliran silang (*cross flow*) dan ada pula yang vertikal seperti *cooling tower* aliran lawan arah (*counter flow*). Aliran lawan arah lebih sering dipakai dan dipilih karena efisiensi termalnya lebih baik daripada aliran silang. Keunggulan *mechanical draft cooling tower* diantaranya:

1. Terjaminnya jumlah aliran udara dalam jumlah yang diperlukan pada segala kondisi beban dan cuaca.
2. Biaya investasi dan konstruksinya lebih rendah.
3. Ukuran dimensinya lebih kecil.
4. Sedangkan kelemahan *mechanical draft cooling tower* adalah:
5. Kebutuhan daya yang besar.
6. Biaya operasi dan pemeliharaan yang besar.
7. Bunyinya lebih ribut.



Gambar 2. *Induced Draft Cooling Tower Aliran Counter-flow*



Gambar 3. *Induced Draft Cooling Tower* Aliran *Cross-flow*

Komponen dasar sebuah menara pendingin meliputi :

1. Rangka dan wadah.
2. Bahan pengisi.
3. Kolam air dingin.
4. Eliminasi aliran.
5. Saluran masuk udara.
6. Nosel.
7. Fan.

METODE PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian ini tidak lepas dari kerangka penelitian secara umum yang meliputi langkah-langkah penelitian dari mulai sampai dengan mendapatkan suatu kesimpulan yang dapat dipergunakan untuk menunjukkan kinerja *cooling tower* dan memberikan suatu kiat khusus dalam menjaga ataupun memperbaiki kinerja *cooling tower* PLTU I Pulang Pisau – Daya 2 x 60 MW sebagai berikut:

1. Studi kepustakaan, observasi dan wawancara

Proses pengumpulan landasan teori yang berkaitan dan dibutuhkan dalam penelitian untuk melakukan perhitungan dan analisa data sesuai judul tugas akhir yang sudah ditentukan. Landasan teori bisa diperoleh dari perpustakaan kampus, PLTU setempat, Unit Pendidikan dan pelatihan, *browsing* via internet dan dari literature-literatur lainnya. Selanjutnya dilakukan juga pengumpulan data-data yang diperlukan melalui observasi lapangan serta wawancara terhadap teknisi ahli yang berkecimpung dibidangnya termasuk juga para operator PLTU.

2. Tabulasi data

Data-data yang telah didapatkan kemudian dikumpulkan dalam bentuk tabel untuk selanjutnya dilakukan perhitungan-perhitungan.

3. Pengolahan data

Dari data-data yang didapat, dapat diolah dalam bentuk perhitungan-perhitungan dalam rangka pengujian *cooling tower*. Adapun perhitungan-perhitungan yang dilakukan diantaranya:

- a. Menghitung laju perpindahan panas
- b. Menghitung kapasitas pendinginan

- c. Menghitung approach dan efisiensi cooling tower
- d. Menghitung kehilangan penguapan
- e. Menghitung perbandingan cair – gas (L/G)

4. Analisa Pengolahan Data

Yaitu menganalisa data-data dengan membuat grafik yang menunjukkan pengaruh/hubungan dari masing-masing parameter terhadap kinerja peralatan ataupun system. Hal ini juga akan dapat menunjukkan peralatan-peralatan yang mengalami penurunan kinerja sehingga berpengaruh terhadap kinerja *cooling tower* secara keseluruhan.

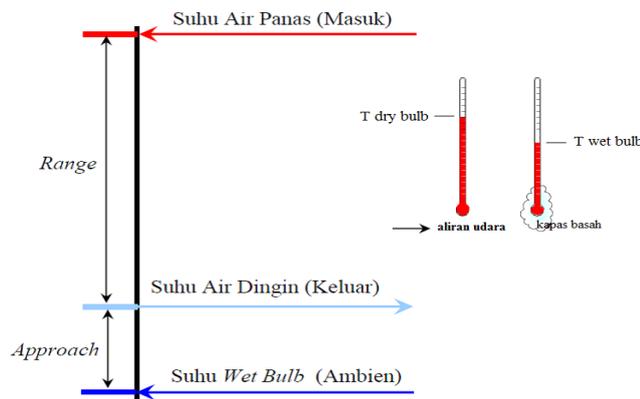
5. Kesimpulan

Yaitu hasil akhir yang diperoleh dari serangkaian kegiatan yang sudah dilakukan dari poin 1 – 4 dalam keperluan pembuatan dan penyusunan tugas akhir dan diharapkan dapat memberikan kiat khusus dalam mempertahankan atau bahkan meningkatkan kinerja *cooling tower*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Performa *Cooling Tower*

Sifat-sifat udara basah yang digunakan dalam perhitungan untuk menentukan prestasi menara pendingin sebagai berikut:



Gambar 4. Range dan Approach *Cooling tower*

Tabel 1. Performa *cooling tower*

No.	Tanggal	Waktu	Beban (MW)	T_{Win} (°C)	T_{Wout} (°C)	Rang e (°C)	T_{wb} (°C)	T_{db} (°C)	Approach (°C)	Efisiensi (%)
1	11/24/2018	06.00	14.8	34.35	29.71	4.64	27.11	28.94	2.60	64.09
2	11/24/2018	09.00	14.9	34.87	30.55	4.32	27.95	29.78	2.60	62.43
3	11/24/2018	12.00	14.9	34.97	30.76	4.21	28.16	29.99	2.60	61.82
4	11/24/2018	15.00	14.6	35.02	31.03	3.99	28.43	30.26	2.60	60.55
5	11/24/2018	18.00	14.5	34.99	30.84	4.15	28.24	30.07	2.60	61.48
6	11/25/2018	06.00	29.6	35.63	30.39	5.24	27.99	29.62	2.40	68.59
7	11/25/2018	09.00	29.6	35.67	30.78	4.89	28.38	30.01	2.40	67.08

8	11/25/2018	12.00	28.9	35.94	30.93	5.01	28.53	30.16	2.40	67.61
9	11/25/2018	15.00	29.1	36.05	31.04	5.01	28.64	30.27	2.40	67.61
10	11/25/2018	18.00	29.1	35.52	30.67	4.85	28.27	29.90	2.40	66.90
11	11/28/2018	06.00	42.5	38.62	30.52	8.10	28.01	29.75	2.51	76.34
12	11/28/2018	09.00	42.6	38.64	30.55	8.09	28.04	29.78	2.51	76.32
13	11/28/2018	12.00	42.5	38.55	30.75	7.80	28.24	29.98	2.51	75.65
14	11/28/2018	15.00	42.5	38.56	30.98	7.58	28.47	30.21	2.51	75.12
15	11/28/2018	18.00	42.5	38.43	30.36	8.07	27.85	29.59	2.51	76.28
16	2/12/2018	06.00	51	37.00	27.02	9.98	24.55	26.25	2.47	80.16
17	2/12/2018	09.00	50	38.69	28.95	9.74	26.48	28.18	2.47	79.77
18	2/12/2018	12.00	51.5	40.56	31.58	8.98	29.11	30.81	2.47	78.43
19	2/12/2018	15.00	51.5	40.05	31.95	8.10	29.48	31.18	2.47	76.63
20	2/12/2018	18.00	50	39.80	30.85	8.95	28.38	30.08	2.47	78.37

Laju Perpindahan Kalor

Nilai laju perpindahan kalor dipengaruhi oleh nilai koefisien perpindahan kalor konveksi (h_c), luas penampang (A) dan perbedaan suhu. Sehingga besarnya laju perpindahan kalor dapat dicari dengan rumus:

$$q = h_c \times A \times \Delta T \quad (1)$$

Dimana :

q = laju perpindahan kalor (kW)

h = koefisien perpindahan kalor konveksi ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

A = luas penampang (m^2)

ΔT = perbedaan suhu ($^\circ C$)

Tabel 2. Hasil pengukuran laju perpindahan panas

No.	Tanggal	Waktu	Beban (MW)	ΔT ($^\circ C$)	q (kW)
1	11/24/2018	06.00	14.8	4.64	3,200.21
2	11/24/2018	09.00	14.9	4.32	2,979.50
3	11/24/2018	12.00	14.9	4.21	2,903.64
4	11/24/2018	15.00	14.6	3.99	2,751.90
5	11/24/2018	18.00	14.5	4.15	2,862.26
6	11/25/2018	06.00	29.6	5.24	3,614.03
7	11/25/2018	09.00	29.6	4.89	3,372.63
8	11/25/2018	12.00	28.9	5.01	3,455.40
9	11/25/2018	15.00	29.1	5.01	3,455.40
10	11/25/2018	18.00	29.1	4.85	3,345.05
11	11/28/2018	06.00	42.5	8.10	5,586.57
12	11/28/2018	09.00	42.6	8.09	5,579.67
13	11/28/2018	12.00	42.5	7.80	5,379.66
14	11/28/2018	15.00	42.5	7.58	5,227.93
15	11/28/2018	18.00	42.5	8.07	5,565.88
16	2/12/2018	06.00	51.0	9.98	6,883.21

17	2/12/2018	09.00	50.0	9.74	6,717.68
18	2/12/2018	12.00	51.5	8.98	6,193.51
19	2/12/2018	15.00	51.5	8.10	5,586.57
20	2/12/2018	18.00	50.0	8.95	6,172.82

Kapasitas Pendinginan

Kapasitas pendinginan merupakan panas yang dibuang dalam kKal/jam atau kW, sebagai hasil dari kecepatan aliran masa air, panas spesifik dan perbedaan suhu. Kapasitas pendinginan dapat dihitung dengan rumus :

$$Q = \dot{m} \times c \times \Delta T \text{ (kW)} \quad (2)$$

Dimana :

Q = kapasitas pendinginan (kW)

\dot{m} = laju massa aliran air (kg/s)

c = kalor spesifik air (kJ/kg°C)

ΔT = perubahan suhu (°C)

Tabel 3. Hasil perhitungan kapasitas pendinginan

No.	Tanggal	Waktu	Beban (MW)	ΔT (°C)	m_A (kg/s)	Q (kW)
1	11/24/2018	06.00	14.8	4.64	10.32	200.45
2	11/24/2018	09.00	14.9	4.32	10.30	186.26
3	11/24/2018	12.00	14.9	4.21	10.33	182.05
4	11/24/2018	15.00	14.6	3.99	10.31	172.20
5	11/24/2018	18.00	14.5	4.15	10.31	179.10
6	11/25/2018	06.00	29.6	5.24	11.55	253.35
7	11/25/2018	09.00	29.6	4.89	11.58	237.04
8	11/25/2018	12.00	28.9	5.01	11.57	242.64
9	11/25/2018	15.00	29.1	5.01	11.55	242.22
10	11/25/2018	18.00	29.1	4.85	11.57	234.90
11	11/28/2018	06.00	42.5	8.10	13.45	456.04
12	11/28/2018	09.00	42.6	8.09	13.44	455.14
13	11/28/2018	12.00	42.5	7.80	13.51	441.11
14	11/28/2018	15.00	42.5	7.58	13.49	428.04
15	11/28/2018	18.00	42.5	8.07	13.45	454.35
16	2/12/2018	06.00	51	9.98	14.05	586.96
17	2/12/2018	09.00	50	9.74	14.45	589.15
18	2/12/2018	12.00	51.5	8.98	14.48	544.31
19	2/12/2018	15.00	51.5	8.10	14.43	489.27
20	2/12/2018	18.00	50	8.95	14.25	533.87

Kehilangan Penguapan

Kehilangan penguapan merupakan jumlah air yang diuapkan untuk tugas pendinginan. Secara teoritis jumlah penguapan mencapai 1,8 m³ untuk

setiap 10.000.000 kKal panas yang dibuang. Pada penelitian ini kehilangan penguapan dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Laju sirkulasi rata-rata} &= 44.889 \text{ m}^3/\text{h} \\ \Delta T \text{ (rata-rata)} &= 6.585 \text{ }^\circ\text{C} \\ \text{Kapasitas penguapan} &= 0.0085 \times 1.8 \text{ laju sirkulasi} \times \Delta T \\ &= 0.0085 \times 1.8 \times 44.889 \text{ (m}^3/\text{h)} \times 6.585 \text{ }^\circ\text{C} \\ &= 4.522 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

Perbandingan Cair/Gas (L/G)

Perbandingan L/G menara pendingin merupakan perbandingan antara laju alir massa air dan udara. Menara pendingin memiliki nilai desain tertentu, namun variasi karena musim memerlukan pengaturan dan perubahan laju alir air dan udara untuk mendapatkan efektivitas terbaik menara pendingin. Besarnya laju aliran massa air dengan laju aliran masa udara (L/G) sebesar 1,17 – 0,46.

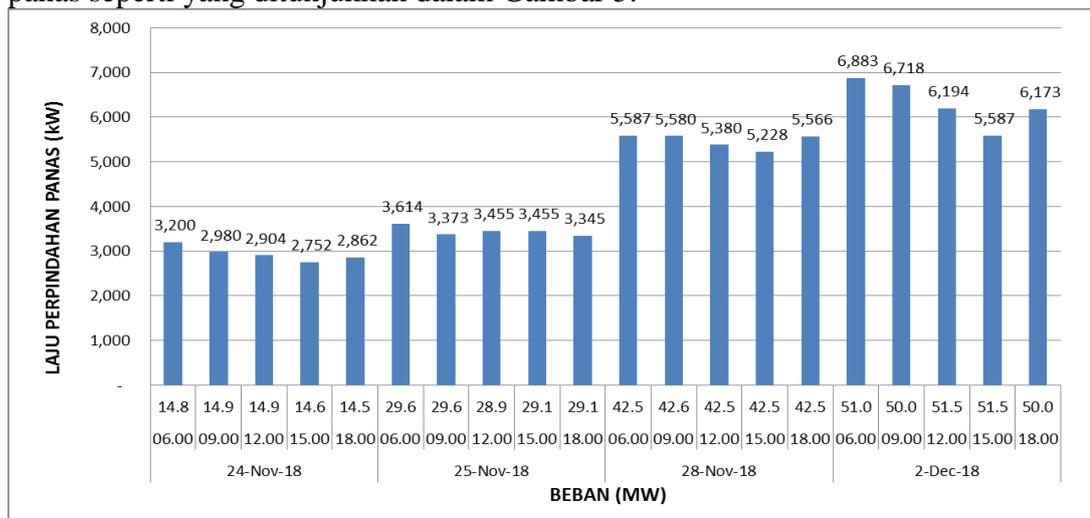
$$L(T_{Win} - T_{Wout}) = G(h_{Win} - h_{Wout}) \tag{3}$$

Dimana :

- L/G = Perbandingan aliran massa cair – gas (kJ/kg^oC)
- T_{Win} = Temperatur air masuk cooling tower (°C)
- T_{Wout} = Temperatur air keluar cooling tower (°C)
- h_{Win} = Entalpi air masuk cooling tower (kJ/kg)
- h_{Wout} = Entalpi air keluar cooling tower (kJ/kg)

Laju Perpindahan Panas

Perpindahan kalor yang terjadi pada *type cooling tower* ini adalah perpindahan panas secara konveksi paksa, dimana perpindahan panas terjadi dari temperature air masuk *cooling tower* dengan temperatur lebih tinggi ke udara yang mengalir akibat isapan *fan/kipas* yang berada di atas tower. Secara sederhana nilai perpindahan panas ini dapat di hitung dengan mempertimbangkan nilai penurunan temperatur (ΔT), nilai koefisien perpindahan panas dan luasan penampang perpindahan panas. Pada penelitian ini didapatkan nilai perpindahan panas seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.



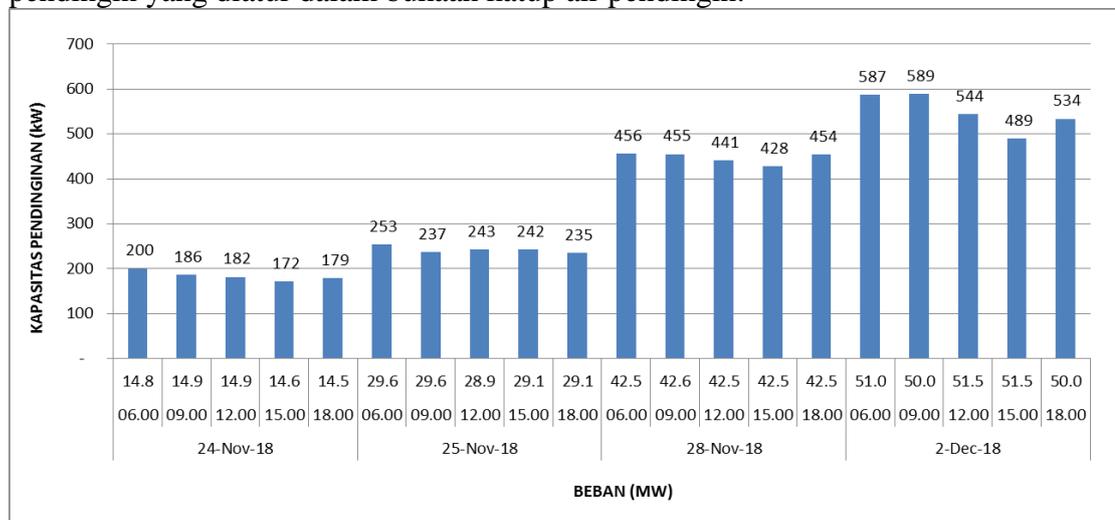
Gambar 5. Laju Perpindahan Panas

Gambar 5 menunjukkan bahwa pada saat penelitian terjadi fluktuatif jumlah laju perpindahan panas yang lebih banyak jika dibandingkan dengan saat komissioning namun secara garis besar peningkatan beban menyebabkan laju perpindahan panas juga meningkat. Dari grafik diatas menunjukkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Nilai laju perpindahan panas tertinggi terjadi pada tanggal 2 Desember 2018 pada pukul 06.00 WIB, beban 51.0 MW yaitu sebesar 6,883 kW.
2. Nilai laju perpindahan panas terendah terjadi pada tanggal 24 November 2018 pada pukul 15.00 WIB, beban 14.6 MW yaitu sebesar 2,752 kW.
3. Laju perpindahan panas sangat dipengaruhi oleh peningkatan pembebanan, semakin besar beban pembangkit, maka semakin besar pula perpindahan panas pada condenser (dari *steam* ke air pendingin) begitu pula dengan perpindahan panas pada *cooling tower* (dari air pendingin ke udara).
4. Besarnya penurunan temperatur pada air pendingin pada cooling tower di pengaruhi oleh beberapa hal sebagai berikut :
 - a. Temperatur udara sekitar.
 - b. Kondisi penyemprotan nosel.
 - c. Kondisi fill *cooling tower*.
 - d. Kualitas air pendingin.

Kapasitas Pendinginan

Gambar 6 menunjukkan variasi kapasitas pendinginan sesuai dengan pembebanan, dimana variasi ini di pengaruhi oleh besarnya aliran masa air pendingin yang diatur dalam bukaan katup air pendingin.



Gambar 6. Grafik Kapasitas Pendinginan pada Pembebanan dan Waktu Tertentu

Dari Gambar 6 diketahui:

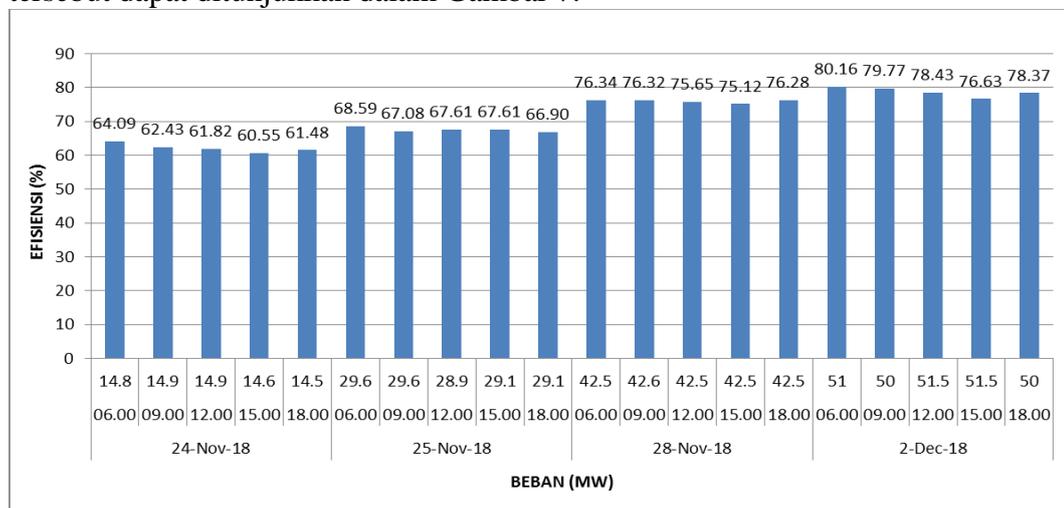
1. Nilai Kapasitas pendinginan tertinggi terjadi pada tanggal 2 Desember 2018 pada pukul 09.00 WIB, beban 50.0 MW yaitu sebesar 589 kW.
2. Nilai laju perpindahan panas terendah terjadi pada tanggal 24 November 2018 pada pukul 15.00 WIB, beban 14.6 MW yaitu sebesar 172 kW.
3. Nilai kapasitas pendinginan sangat dipengaruhi oleh peningkatan pembebanan, semakin besar beban pembangkit, maka semakin besar

kebutuhan suplai air pendingin sehingga menyebabkan peningkatan jumlah laju aliran massa air pendingin.

Kapasitas pendinginan maksimal pada *cooling tower* PLTU I Pulang Pusau – daya 2 x 60 MW adalah berada pada pembebanan 50 MW dengan kapasitas pendinginan 589 kW. Hal ini mengalami penurunan jika dibandingkan pada hasil komisioning yang mampu mencapai pembebanan maksimal 60 MW dengan kapasitas pendinginan sekitar 704.03 kW

Performa *Cooling Tower*

Kinerja *cooling tower* secara signifikan ditunjukkan oleh pengaruh temperatur udara ambien disekitar *cooling tower*, jika dibandingkan dengan pengujian pada waktu komissioning efisiensi *cooling tower* masih relatif sama walaupun ada sedikit penurunan, namun masih berkisar di angka 71%. Hal tersebut dapat ditunjukkan dalam Gambar 7.

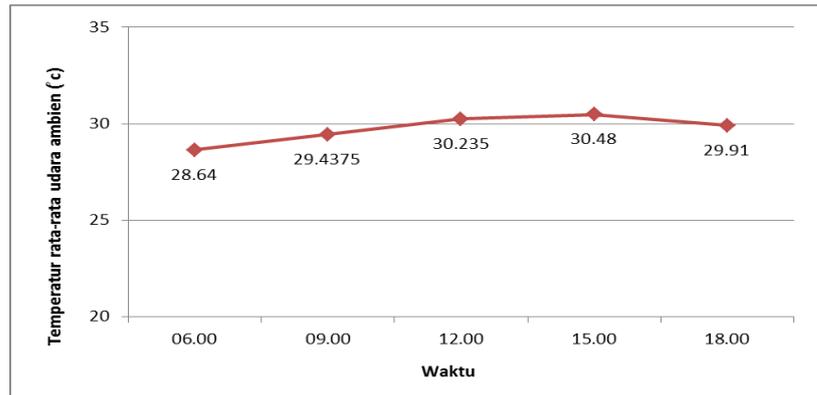


Gambar 7. Grafik Efisiensi *Cooling Tower* pada Beban dan Waktu Tertentu

Dari Gambar 7 diketahui kinerja *cooling tower* yang paling baik ditunjukan pada pengambilan data tanggal 2 Desember 2018 pukul 06.00 WIB yaitu pada *range* beban 50 MW dan temperatur udara ambien sekitar 24.55 °C (*wet bulb*) dan 26.25 °C (*dry bulb*) dengan Efisiensi sekitar 80.16%. Besarnya temperatur ambien (udara sekitar) sangat dipengaruhi oleh kondisi alam diantaranya:

1. Sinar Matahari

Sinar matahari merupakan salah satu penyebab naiknya temperature udara ambien yang berada disetiap peralatan dalam hal ini khususnya *cooling tower*. Pada saat siang hari, matahari akan memberikan panas pada udara ambien yang disebabkan oleh radiasi pancaran sinar matahari. Panas ini diserap oleh bumi dan mengakibatkan temperature udara akan naik. Pada malam hari, tidak adanya sinar matahari akan menyebabkan temperature udara ambien rendah. Pada saat pagi hari, sinar matahari masih belum terlalu lama sehingga temperature udara ambien masih cenderung normal. Pada siang dan sore hari, posisi matahari berada di titik tinggi, yang menyebabkan temperatur udara ambien akan mengalami kenaikan suhu sehingga temperatur udara ambien akan panas.



Gambar 8. Grafik Kenaikan Rata-rata Temperatur Udara Ambien karena Paparan Sinar Matahari

Pada penelitian ini didapatkan efisiensi *cooling tower* terbaik terdapat pada hasil pengambilan data yang dilakukan pada pagi hari pukul 06.00 WIB.

2. Faktor Geografis

Indonesia terletak di sekitar garis khatulistiwa, yang menyebabkan Indonesia hanya memiliki 2 musim saja, musim panas dan hujan. Indonesia terletak di belahan bumi bagian tengah yang membuat Indonesia menjadi beriklim tropis basah karena tingkat kelembaban udara mencapai 90% disertai curah hujan yang tinggi. Pada saat dilakukannya penelitian yaitu dari tanggal 24 November 2018 – 04 Desember 2018 di lokasi PLTU adalah musim hujan, sehingga temperature udara ambien sangat fluktuatif yaitu berada di rentang temperatur 28 °C - 31 °C. Dalam hal ini semakin rendah temperature udara ambien maka kerja *cooling tower* akan semakin ringan dan dapat memperoreh kinerja yang maksimal.

Dilihat dalam pengoperasian dari 20 sampel data yang diambil dalam waktu dan pembebanan yang berbeda dapat menunjukkan kinerja *cooling tower* PLTU Pulang Pisau – Daya 2 x 60 MW Unit 1 yang masih baik yaitu sekitar 71%. Berdasarkan informasi dari Manajer Operasi dan Pemeliharaan PT PJB (Pelaksana Operasi dan Pemeliharaan), apabila nilai efisiensi *cooling tower* berada di bawah 45% dinyatakan *cooling tower* tidak layak beroperasi sehingga wajib dilakukan analisa lebih lanjut.

Tabel 4. *Standar operation and maintenance cooling tower PLTU Pulang Pisau*

No.	Standar	Efisiensi	Keterangan	Penanggulangan
1	Sangat Baik	> 80	Normal	Normal cek
2	Baik	70 - 80	Normal	Normal cek
3	Cukup Baik	60 - 70	- Perlu check alat ukur flow air - Perlu cek alat ukur flow udara - Perlu cek alat ukur temperatur udara	Running inspection
4	Butuh pengecekan	50 - 60	- Perlu check kerja fan - Perlu check nosel - Perlu cek flow air pendingin	Running inspection
5	Tidak layak operasi	< 45	Shutdown	Shutdown Inspection

Sistem pembebanan/pengoperasian pembangkit juga sangat mempengaruhi, dalam hal ini besarnya beban pembangkit, akan meningkatkan jumlah kalor yang serap air pendingin, sehingga pada system pendingin harus meningkatkan jumlah

aliran air pada condenser untuk mendinginkan *steam* dari turbin, temperatur air pendingin juga meningkat sehingga *cooling tower* akan memerlukan hembusan udara pendingin yang lebih. Pada beban puncak *cooling tower* beroperasi dengan 3 *fan* pendingin dan pada beban rendah hanya 2 *fan* pendingin. Besarnya jumlah aliran udara yang dibutuhkan diatur oleh *moving blade* dari *fan* pendingin pada *cooling tower*.

Kehilangan Penguapan

Cooling tower PLTU Pulang Pisau – Daya 2 x 60 MW merupakan *cooling tower* type *Induced draft*, dimana proses mengalirnya udara sebagai pendingin air dibantu oleh *fan*/kipas yang berada di atas bangunan *cooling tower*. Ketika suatu *cooling tower* beroperasi akan kita dapat melihat adanya hembusan uap air dari atas *cooling tower*, hembusan uap air tersebut berasal dari sebagian kecil air yang terbawa oleh hembusan udara. Jumlah air yang terbawa oleh hembusan udara yang keluar pada *cooling tower* type *induced draft* PLTU I Pulang Pisau – Daya 2 x 60 MW adalah 4.52 m³/h. Nilai laju kehilangan penguapan ini dapat dijadikan salah satu parameter untuk menghitung jumlah air yang diperlukan untuk *make up*.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai laju perpindahan panas *cooling tower* PLTU I Pulang Pisau – Daya 2 x 60 MW tertinggi terjadi pada tanggal 02 Desember 2018 pada pukul 06.00 WIB, beban 51.0 MW yaitu sebesar 6,883 kW dan terendah terjadi pada tanggal 24 November 2018 pada pukul 15.00 WIB, beban 14.6 MW yaitu sebesar 2,752 kW. Nilai efisiensi rata-rata sebesar 71%.
2. Kondisi performa *cooling tower* pada point di atas merupakan performa *cooling tower* masih berada pada range nilai efisiensi 70% – 80% dan berdasarkan *Operation dan Maintenance Procedure* PT. PJB PLTU Pulang Pisau masih dikategorikan kondisi baik, oleh karena itu dalam rangka mempertahankan atau meningkatkan kembali performa *cooling tower* perlu dilakukan kajian pola operasi pembangkit dengan pembebanan yang paling efisien serta pemeliharaan pada setiap peralatan *cooling tower* secara rutin agar kondisi alat-alat atau komponennya dapat bekerja dengan baik sesuai tujuan dengan *lifetime* yang direncanakan.

REFERENSI

- Cengel, Yunus A. dan Boles, Michael A., *Thermodynamics An Engineering Approach*. 5th Edition,
- Bergman, T.L. dan Lavine, A.S., 2002, *Fundamentals of Heat Transfer*. Ed. 7, New York.
- Fauzi, Danial Ahmad dan Rudiyanto, Bayu, “Analisa Performa Menara Pendingin Pada PT Geo Dipa Energi Unit Dieng”, Politeknik Negeri Jember.
- Muhammad, Awwaluddin, 2007, “Analisis Perpindahan Kalor Pada Heat Exchanger Pipa Ganda Dengan Sirip Berbentuk Delta Wing”, Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
- Willey, John & Holman, Sons, J.P., 199, *Perpindahan Kalor*. Ed. 6, Erlangga, Jakarta