

ANALISIS PENGARUH MUSIM KEMARAU DAN MUSIM HUJAN TERHADAP KINERJA *COOLING TOWER* DI PLTU CIREBON UNIT 1

Khairul Amri¹, Alvera Apridalianti Melkias¹, Ali Mashar¹

¹Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Indonesia

E-mail: khairul.amri.tken18@polban.ac.id, alveramelkias@polban.ac.id, amashar69@gmail.com

Abstrak

PLTU Cirebon Unit 1 menggunakan sistem air pendingin tipe tertutup dengan cooling tower berjenis induced draft counter flow with fill. Faktor yang dapat memengaruhi kinerja dari cooling tower antara lain adalah range dan approach. Musim kemarau dan musim hujan memiliki perbedaan kondisi udara lingkungan seperti temperatur dry-bulb, relative humidity dan temperatur wet-bulb yang dapat mempengaruhi kinerja cooling tower dalam mendinginkan air. Kinerja dari cooling tower dapat diketahui menggunakan metode range dan approach. Perhitungan efektivitas cooling tower menggunakan data aktual dengan beban pembangkitan 660 MW pada bulan Januari hingga Agustus 2019. Nilai rata-rata efektivitas cooling tower pada musim kemarau lebih tinggi yaitu sebesar 66,80 % sedangkan pada musim hujan, nilai efektivitas cooling tower lebih rendah yaitu 62,42%. Nilai approach yang rendah menyebabkan efektivitas cooling tower pada musim kemarau lebih tinggi.

Kata Kunci: *Cooling Tower, Efektivitas, Musim Hujan, Musim Kemarau*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Batu bara digunakan sebagai bahan bakar pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) untuk menaikkan temperatur air hingga menghasilkan uap yang dipakai untuk menggerakkan turbin yang tersambung dengan generator sehingga terjadi proses perubahan energi mekanik menjadi energi listrik. Setelah menggerakkan turbin, uap tersebut akan masuk ke dalam kondensor untuk mengalami proses kondensasi dari fasa uap menjadi fasa cair. Sejumlah panas harus dihilangkan untuk mengubah fasa uap menjadi fasa cair. Proses penghilangan panas ini dapat dilakukan menggunakan sistem air pendingin.

Proses pembangkitan listrik seringkali menghasilkan air yang lebih panas dari temperatur air laut sehingga PLTU Cirebon menggunakan sistem air pendingin tipe tertutup (*close cycle*). Sistem air pendingin tipe tertutup ini menggunakan *cooling tower* dalam siklus pendinginan air. *Cooling tower* yang terdapat di PLTU Cirebon Unit 1 berjenis *counter flow induced draft with fill*. Faktor yang dapat memengaruhi kinerja dari *cooling tower* antara lain adalah nilai *approach* dan *range*.

Musim hujan dan musim kemarau dapat memengaruhi kinerja *cooling tower* karena mempunyai temperatur bola kering, kelembapan relatif, dan temperatur bola basah yang berbeda. Masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah sejauh mana pengaruh musim kemarau dan musim hujan terhadap kinerja *cooling tower*. Pendekatan efektivitas atau metoda *range approach* digunakan untuk menganalisis kinerja dari *cooling tower*.

Tujuan penelitian ini adalah menghitung, menganalisis dan membandingkan kinerja *cooling tower* pada musim hujan dan

kemarau serta menganalisis pengaruh efektivitas *cooling tower* terhadap kapasitas pendinginan dan *make-up water cooling tower*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Menara Pendingin (*Cooling Tower*)

Menara pendingin adalah bagian dari sistem pembangkit listrik yang memiliki kegunaan sebagai penukar kalor antara air panas yang keluar dari kondensor dengan udara sehingga air tersebut memiliki temperatur yang lebih rendah dan dapat digunakan kembali dalam proses kondensasi. Pendinginan air pada *cooling tower* ini dengan cara mengontakan air dengan udara lingkungan yang dipaksa masuk untuk bersirkulasi sehingga menguapkan sebagian air ke udara. Selain bertujuan untuk menurunkan temperatur air, alat ini berfungsi untuk menanggulangi masalah pencemaran lingkungan [4].

Cooling tower memiliki prinsip kerja berdasarkan pada perpindahan panas dan pelepasan panas dari air ke udara. Terdapat sejumlah air diuapkan ke aliran udara kemudian dibuang ke atmosfer sehingga air mengalami penurunan temperatur. Air panas secara langsung melakukan kontak dengan udara lingkungan yang bergerak secara paksa karena pengaruh *induced fan* yang terpasang pada bagian atas *cooling tower*, kemudian air tersebut mengalir jatuh ke *fill*. Air yang telah turun temperaturnya ditampung di sebuah kolam (basin) kemudian dipompakan ke kondensor menggunakan *circulating water pump* (CWP). Menara pendingin memiliki sistem air pengganti atau *make-up water* yang dipompa secara langsung dari laut menggunakan *sea water make-up pump* untuk menambah kapasitas air pendingin akibat kehilangan air ketika proses *evaporative cooling* [3].

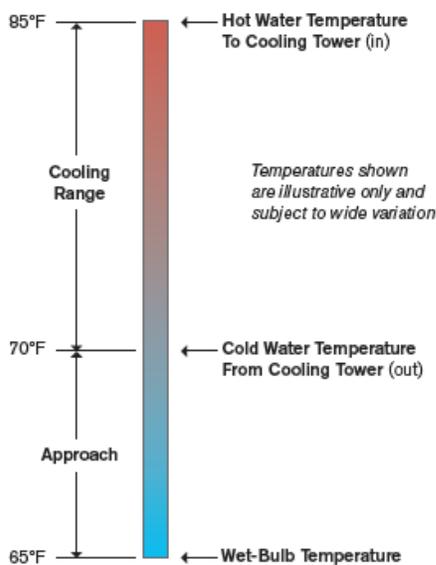
Tabel 1 Spesifikasi *Cooling Tower* di PLTU Cirebon Unit 1

Design and Operating Condition				
Circulating water flow total 97,400 m ³ /h (2 units)				
	Design Condition	Guarantee Condition	Design Condition	Guarantee Condition
	24 cells		22 cells	
Water salt contents (35,872.23x1.1x1.35 COC)	53,270 ppm		53,270 ppm	
Hot (inlet) water temp (°C)	42.8	38.5	43.3	39.6
Cold (outlet) water temp (°C)	34.8	30.5	35.3	31.6
Wet bulb temp, (°C), inlet	31.4	25.4	31.4	25.4
Relative humidity, %	80			
Tower pump head at basin curb, m	8.22			
Total fan B.H.B., (output), kW	3602.4 (150.1 x 24cells)			
Drift loss, % of circulating flow	0.001			
Evaporation loss (at design)	1.15			
Design wind load, m/s	27.78			
Design seismic load	UBC97 ZONE 2B			
Tower site (ground level, roof, etc.)	Ground Level			

Cooling tower yang digunakan di PLTU Cirebon Unit 1 merupakan *cooling tower* tipe aliran lawan arah menggunakan pengisi atau *induced draft counterflow with fill cooling tower* dengan spesifikasi pada Tabel 1 di atas.

2.2 Perhitungan Kinerja *Cooling Tower*

Gambar 1 merupakan Parameter yang penting untuk menentukan kinerja dari *counterflow induced draft with fill cooling tower* yaitu *range* dan *approach*.



Gambar 1 Range dan Approach

– Range

Range adalah perbandingan antara temperatur input air panas dan temperatur keluaran air dingin dari *cooling tower*. Kesalahan umum yang sering terjadi adalah menganggap bahwa besarnya *range* ini dipengaruhi oleh kinerja atau efektivitas dari *cooling tower*, kenyataannya kinerja dari *cooling tower* ditentukan dari besarnya *approach* [7].

$$Range = T_{hin} (°C) - T_{cout} (°C) \quad (1)$$

Beban panas (*heat load*) yang diserap oleh laju massa aliran air pendingin dapat diketahui dari persamaan 5. Berdasarkan persamaan tersebut besarnya *range* dipengaruhi oleh laju massa aliran air pendingin, *turbine heat duty* (*heat load*), *cp* dan *density*.

– Approach

Selisih antara temperatur air dingin keluar *cooling tower* dan temperatur *wet-bulb* lingkungan disebut juga dengan *approach*. *Approach* merupakan indikator yang lebih baik untuk kinerja *cooling tower* akan tetapi, *range* dan *approach* harus tetap dipantau [3]. Kinerja atau efektivitas menara pendingin semakin baik ketika nilai *approach* rendah.

$$Approach = T_{cout} (°C) - T_{wb} (°C) \quad (2)$$

– Efektivitas Menara Pendingin

Efektivitas menara pendingin dapat diketahui menggunakan persamaan 3 yaitu perbandingan *range* dengan *range* ideal atau selisih temperatur air masuk *cooling tower* dan temperatur *wet-bulb*.

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

– Menghitung Laju Massa Aliran Air

Ketika laju massa aliran air tidak diketahui maka digunakan persamaan kesetimbangan siklus energi turbin [5].

$$Turbine Heat Duty = (FMS (hMS - hFW)) + (FHRH (hHRH - hCRH)) - 860 (Pgen + Pgen losses + Heat loss rad) \quad (4)$$

Dimana:

- Turbine Heat Duty* = Kerja panas turbin (Kcal/hr)
- FMS = Aliran uap utama (Kg/hr)
- hMS = Entalpi uap utama (Kcal/Kg)
- hFW = Entalpi air umpan (Kcal/Kg)
- FHRH = Aliran uap hot reheat (Kg/hr)
- hHRH = Entalpi hot reheat (Kcal/kg)
- hCRH = Entalpi cold reheat (Kcal/kg)
- Heat loss rad = 0,1 % dari daya generator atau rugi radiasi kW
- Pgen = daya aktual generator (kW)

Pgen Losses = 1 % dari daya aktual generator (kW)

Setelah didapatkan nilai dari *turbine heat duty*, maka laju aliran sirkulasi air pendingin dapat diketahui dengan persamaan:

$$CCWF = \frac{\text{Turbine Heat Duty}}{c_p (CCWTO - CCWTI) \times D} \quad (5)$$

CCWF = Circulating Cooling Water Flow (m³/hr)

Turbine Heat Duty = Kerja panas turbin (Kcal/hr)

C_p = Panas spesifik air (Kcal/Kg°C)

CCWTO = Temperatur air pendingin keluar (°C)

CCWTI = Temperatur air pendingin masuk (°C)

D = Densitas air (Kg/m³)

– Kapasitas Pendinginan

Kapasitas pendinginan merupakan panas yang dibuang dalam satuan kKal/jam atau kW, sebagai hasil dari laju massa aliran air, panas spesifik dan perbedaan temperatur.

$$Q = \dot{m} \times c \times \Delta T \quad (6)$$

Dimana:

Q = kapasitas pendinginan (kW)

\dot{m} = *circulating cooling water flow* (m³/hr)

c = kalor spesifik air (kJ/kg°C)

ΔT = perubahan temperatur atau range (°C)

– *Evaporation Loss*

Evaporation loss adalah jumlah air yang mengalami penguapan saat proses pendinginan.

$$E = 0.00085 \times 1.8 \times CCWF \times R \quad (7)$$

Dimana:

E = Kehilangan penguapan (m³/hr)

R = *Range* (T_{in}-T_{out}) °C

CCWF = *Circulating Cooling Water Flow* (m³/hr)

– *Blowdown*

Blowdown merupakan air yang dibuang dari sistem berfungsi untuk mengontrol konsentrasi garam dan kotoran lain dalam air yang bersirkulasi.

$$B = \frac{E}{(COC - 1)} \quad (8)$$

B = *blowdown* (m³/hr)

E = *evaporation loss* (m³/hr)

COC = *cycle of concentration* (1.35)

– *Drift Loss*

Sirkulasi air yang ikut keluar melewati saluran aliran udara keluar dari *cooling tower* yang berbentuk tetesan air (uap air) disebut *driftloss*. Berdasarkan desain, *drift loss* ini sebesar 0.001% dari *circulating cooling water flow*.

– *Make-up Water*

Make-up water merupakan air yang ditambahkan sebagai pengganti dari air yang hilang.

$$M = B + D + E \quad (9)$$

M = Air pengganti (m³/hr)

E = *Evaporation Loss* (m³/hr)

D = *Drift Loss* (m³/hr)

B = *Blowdown* (m³/hr)

2.3 Musim di Indonesia

Letak suatu wilayah merupakan faktor yang memengaruhi keadaan cuaca dan iklim. Posisi geografis Indonesia yang terletak di garis khatulistiwa yaitu garis semu yang membagi dua bagian yang sama pada bola dunia menjadi belahan bumi utara (Benua Asia) dan belahan bumi selatan (Benua Australia) [6]. Wilayah dengan iklim tropis memiliki dua musim yaitu musim hujan dan musim kemarau.

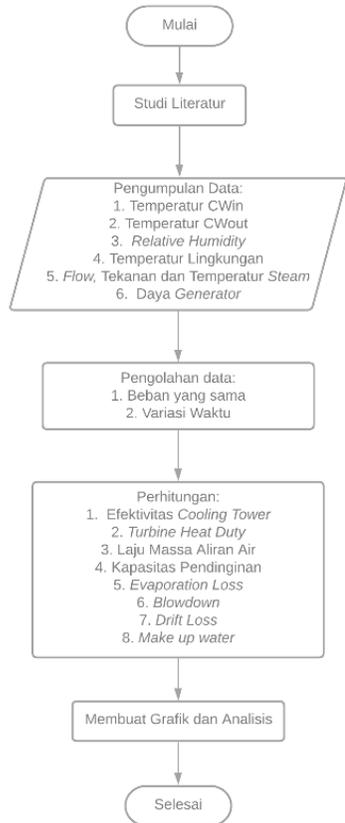
Musim hujan biasanya terjadi bulan Oktober hingga April ditandai dengan terjadinya peningkatan curah hujan dibandingkan biasanya dalam jangka waktu tertentu di suatu wilayah, sedangkan musim kemarau di Indonesia umumnya terjadi pada bulan April hingga Oktober.

Pengamatan keadaan cuaca biasanya memerhatikan persebaran komponen cuaca seperti kelembapan, temperatur, awan, curah hujan, dan angin [2].

Masuknya musim hujan dapat ditandai dengan terjadinya peningkatan curah hujan dibandingkan biasanya dalam jangka waktu tertentu di suatu wilayah. Jumlah curah hujan sebesar 50 mm selama sepuluh hari lalu diikuti dua dasarian berikutnya menunjukkan sebagai awal dimulainya musim hujan, sedangkan musim kemarau ditunjukkan dengan total curah hujan 50 mm selama sepuluh hari diikuti dua dasarian berikutnya [1].

3. METODE PENELITIAN

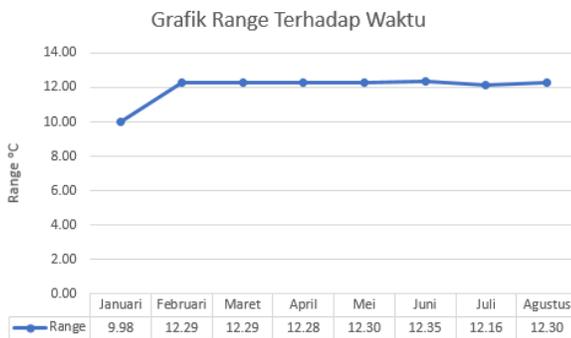
Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Data-data yang diperlukan dalam penelitian ini diperoleh dari *cirebon power services* yaitu temperatur *circulating water in* (CWin), temperatur *circulating water out* (CWout), daya generator serta *flow*, tekanan, dan temperatur *steam*, sedangkan untuk *relative humidity* dan temperatur lingkungan diperoleh dari *timeanddate.com* pada bagian *Past Weather Data* di Kabupaten Cirebon.



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Efektivitas *Cooling Tower*



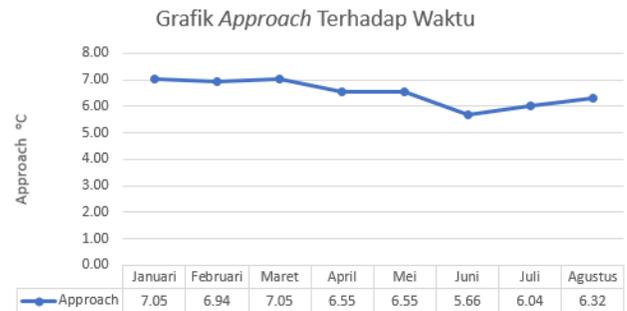
Gambar 3 Grafik Range Terhadap Waktu

Grafik yang ditunjukkan pada Gambar 3 merupakan grafik *range* dari bulan Januari hingga bulan Agustus 2019. *Range* merupakan selisih temperatur air panas masuk ke dalam *cooling tower* dengan temperatur air dingin keluar *cooling tower*. Berdasarkan grafik di atas *range* terendah terdapat pada bulan Januari sebesar 9,98 °C dan tertinggi pada bulan Juni sebesar 12,35 °C. Besarnya *range* dari grafik tersebut baik pada musim hujan maupun musim kemarau (bulan Februari hingga bulan Agustus) memiliki nilai yang dekat. Hal tersebut

dikarenakan nilai *range* ini dipengaruhi oleh proses *heat rejection* tempat yang menggunakan *cooling tower* yaitu kondensor pada PLTU. Tabel 2 merupakan data rata-rata besarnya panas *steam* yang masuk ke kondensor, laju massa aliran air pendingin serta besarnya nilai *range*.

Tabel 2 Turbine Heat Duty dan CCWF

Bulan	Turbine Heat Duty	CCWF	Range
	kCal/hr	m ³ /hr	°C
Januari	688904264.3	71374	9.98
Februari	691482447.2	57732	12.29
Maret	694052363.1	57827	12.29
April	717773377.3	59980	12.28
Mei	715005426.1	59638	12.30
Juni	711899066.9	59145	12.35
Juli	713821056.3	60437	12.16
Agustus	712285104.5	59446	12.30



Gambar 4 Grafik Approach Terhadap Waktu

Parameter selanjutnya yang digunakan untuk menentukan kinerja dari *cooling tower* adalah *approach*. *Approach* merupakan selisih dari temperatur air yang keluar dari *cooling tower* dengan temperatur *wet-bulb* ambien. *Approach* ini menunjukkan kemampuan pendinginan *cooling tower* dan nilai *approach* ini berbanding terbalik dengan kinerja *cooling tower*. Gambar 4 di atas menunjukkan bahwa *approach* tertinggi terjadi pada musim hujan atau bulan Januari dan Maret 2019 sebesar 7.05 °C sedangkan *approach* terendah terjadi pada musim kemarau atau bulan Juni 2019 sebesar 5.66 °C. Parameter *approach* dapat dikatakan dalam kondisi baik jika selisih antara temperatur air yang keluar dari *cooling tower* dengan temperatur *wet-bulb* ambien tidak terlalu jauh. Nilai *approach* berdasarkan spesifikasi pada *design condition* sebesar 3.4 °C sedangkan pada *guarantee condition* sebesar 5.1 °C.

Faktor lain yang dapat menyebabkan selisih *approach* yang tinggi adalah kondisi pada bagian *fill* atau *fill*. Menurut pihak PLTU Cirebon Unit 1, air laut pada musim hujan cenderung lebih kotor karena mengandung lumpur atau lebih keruh. Kotoran ini dapat mengendap pada bagian *fill* yang menyebabkan proses perpindahan panas menjadi tidak maksimal.

Tabel 3 Efektivitas pada Nilai Range yang Sama

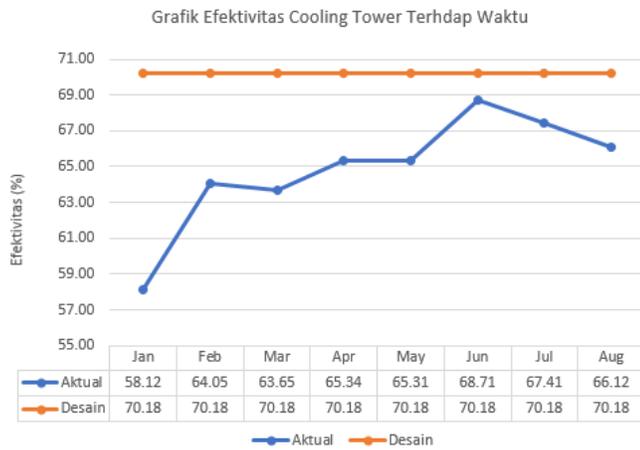
Tanggal	Turbine Heat Duty	CCWF	Tin CT	ToutCT	TD _b	Humidity	TW _b	Range	Approach	Efektivitas
	kCal/hr	m ³ /hr	°C	°C	°C	%	°C	°C	°C	%
26-Apr-19	717505245	59598	45.33	32.98	29	83.0	26.59	12.35	6.38	65.93
30-Apr-19	718677633	59722	45.55	33.20	31	72.0	26.74	12.35	6.46	65.66
14-Aug-19	715692032	59477	43.19	30.85	30.6	65.6	25.30	12.35	5.55	69.00
16-Aug-19	711119920	59100	42.96	30.61	31	62.3	25.08	12.35	5.53	69.07

Tabel 3 di atas memperlihatkan kondisi nilai dari *turbine heat duty* dan *circulating cooling water flow* yang berdekatan serta memiliki nilai *range* yang sama yaitu 12,35 °C. Meskipun memiliki nilai *range* yang sama, tetapi pada hari tersebut memiliki nilai *approach* yang berbeda. Terlihat pada tanggal 14 dan 16 Agustus 2019 memiliki nilai *approach* yang lebih rendah sehingga efektivitasnya lebih besar dibandingkan pada tanggal 26 dan 30 April 2019.

musim kemarau lebih tinggi yaitu 66.80 % sedangkan pada musim hujan memiliki efektivitas sebesar 62.42%. Nilai efektivitas tersebut berada di bawah efektivitas *design condition*. Hal tersebut menunjukkan bahwa terjadi penurunan efektivitas *cooling tower* sebesar 3,38% pada musim kemarau dan 7,76% pada musim hujan. Penurunan efektivitas ini dapat diakibatkan oleh usia dari *cooling tower* yang telah beroperasi sejak tahun 2012 serta perbedaan kondisi temperatur dan kelembapan udara lingkungan di sekitar *cooling tower* pada saat musim kemarau maupun musim hujan.

4.2 Kapasitas Pendinginan dan Make-up Water

Perbedaan temperatur air masuk *cooling tower* dengan temperatur air keluar *cooling tower* (*range*) berpengaruh terhadap jumlah kapasitas air pendingin dan *make-up water*.



Gambar 5 Grafik Efektivitas Cooling Tower Terhadap Waktu

Gambar 5 di atas merupakan grafik efektivitas yang dapat menunjukkan kondisi baik atau tidaknya *cooling tower* di PLTU Cirebon unit 1. Nilai efektivitas ini didapat dari hasil perhitungan *range* dan *approach*. Berdasarkan grafik tersebut nilai efektivitas tertinggi terjadi pada musim kemarau atau bulan Juni 2019 sebesar 68.71% sedangkan nilai efektivitas terendah terjadi pada musim hujan atau bulan Januari 2019 yaitu sebesar 58.12%. Terlihat dari Gambar 3 dan 4 bahwa nilai *range* yang lebih tinggi serta *approach* yang rendah pada bulan Juni 2019 membuat efektivitas *cooling tower* tinggi sedangkan nilai *range* yang rendah serta nilai *approach* yang tinggi menyebabkan efektivitas *cooling tower* menjadi rendah.

Tabel 4 Perbandingan Efektivitas Design dan Aktual

Parameter	Design Condition	Musim Kemarau	Musim Hujan
Efektivitas Cooling Tower (%)	70.18	66.80	62.42

Tabel 4 di atas merupakan perbandingan efektivitas *cooling tower* aktual pada musim hujan dan musim kemarau dengan efektivitas *cooling tower* berdasarkan spesifikasi desain. Dilihat dari tabel tersebut nilai efektivitas rata-rata pada



Gambar 6 Grafik Kapasitas Pendinginan dan Make-up Water

Kapasitas pendinginan merupakan total panas yang dilepaskan dari air yang bersirkulasi melewati *cooling tower*, sedangkan *make-up water* adalah total air yang harus ditambahkan sebagai pengganti air yang berkurang pada proses pendinginan di *cooling tower*. Berdasarkan Gambar 6 besarnya rata-rata kapasitas pendinginan dan *make-up water* tertinggi terjadi pada bulan April 2019 dan terendah terjadi pada bulan Januari 2019. Besarnya kapasitas pendinginan dan *make-up water* ini dipengaruhi oleh laju massa aliran air dan nilai *range* dapat dilihat pada Tabel 2. Jumlah kapasitas pendinginan dan *make-up water* tertinggi sebesar 2999599,21 kW dan 4404,07 m³/Hr pada tanggal 25 April 2019 sedangkan jumlah kapasitas pendinginan dan *make-up water* terendah sebesar 2766552,47 kW dan 4061,94 m³/Hr pada tanggal 23 Maret 2019.

Terdapat tiga parameter untuk menentukan besarnya air pengganti yaitu *drift loss*, rugi penguapan dan *blowdown*. *Cooling tower* di PLTU Cirebon Unit 1 memiliki *drift eliminator* sehingga besarnya *drift loss* adalah 0.001%. Nilai *range* berpengaruh terhadap besarnya rugi penguapan, karena semakin banyak jumlah panas yang dibuang dari air maka semakin banyak pula rugi penguapan atau *evaporation loss*. Pada sistem air pendingin terdapat *blowdown*. Perhitungan *blowdown* ini dipengaruhi oleh jumlah rugi penguapan dan nilai *cycle of concentration* (COC). Setelah ketiga parameter

tersebut dihitung maka jumlah *make-up water* dapat diketahui. Penambahan *make-up water* langsung dari air laut ini tidak terlalu berpengaruh terhadap air pendingin yang tertampung di basin karena hanya terdapat perbedaan 0.06 °C hingga 0.26 °C, sehingga temperatur air pendingin keluar *cooling tower* dapat dianggap sama dengan temperatur air pendingin masuk ke kondensor.

5. KESIMPULAN

1. Efektivitas menara pendingin saat musim kemarau maupun musim hujan di PLTU Cirebon Unit 1 nilainya turun dari efektivitas *design*. Nilai rata-rata efektivitas *cooling tower* pada musim kemarau sebesar 66,80% sedangkan pada musim hujan nilai efektivitasnya sebesar 62,42%. Perbedaan efektivitas *cooling tower* disebabkan oleh kondisi udara lingkungan yang berbeda pada musim kemarau dan musim hujan.
2. Musim kemarau memiliki efektivitas *cooling tower* lebih besar dibandingkan musim hujan. Hal tersebut dikarenakan temperatur udara yang lebih tinggi dan kelembapan relatif yang lebih rendah pada musim kemarau daripada musim hujan, sehingga memiliki kapasitas untuk menampung uap air yang keluar dari proses perpindahan panas di *cooling tower* semakin besar.
3. Besarnya kapasitas pendinginan dan *make-up water* dipengaruhi oleh laju massa aliran air dan range. Jumlah kapasitas pendinginan dan *make-up water* tertinggi sebesar 2999599,21 kW dan 4404,07 m³/hr sedangkan jumlah kapasitas pendinginan dan *make-up water* terendah sebesar 2766552,47 kW dan 4061,94 m³/hr.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (2020). *Prakiraan Musim Hujan 2020/2021 di Indonesia*. <http://www.bmkg.go.id>
- [2] Fauziah, N. (2018). *Cuaca dan Iklim* (1st ed.). Sentra Edukasi Media.
- [3] Handoyo, Y. (2015). Analisis Performa Cooling Tower LCT 400 Pada P.T. XYZ, Tambun Bekasi. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Unisma "45" Bekasi*, 3(1), 97640.
- [4] Herlambang, R. B., Pambudi, A., Al Ayubbi, I., & Setyoko, A. (2014). RANCANG BANGUN TEST BED COOLING TOWER COUNTER FLOW. *D3-Teknik Mesin, September*, 2.
- [5] Robert J. Tramel. (2000). Heat Rate Improvement Guidelines for Indian Power Plants Heat Rate Improvement Guidelines for Indian . Power Plants. *United States Agency for Internationall Development, I*, 4-30.
- [6] Rufaida, A. D. (2018). *Mengenal Cuaca dan Iklim*. Penerbit Cempaka Putih.
- [7] SPX Cooling Technologies. (2016). Thermal Science Cooling Tower Performance - Range. *Marley, 04*. <https://www.spxcooling.com/wp-content/uploads/TR-017.pdf>