

# Analisis Efektivitas *Cooling Tower* Sebelum dan Sesudah Pergantian *Filler Pack*

Mutiara Ghinaul Qalbi<sup>1\*</sup>, Budi Suharto<sup>1</sup>, Sri Wuryanti<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40559

E-mail: [mutiara.ghinaul.tken21@polban.ac.id](mailto:mutiara.ghinaul.tken21@polban.ac.id) \*

## Abstract

*Cooling towers are components used to lower the temperature of condensate water from the condenser, which is pumped through the hot well pump. Given the importance of cooling towers as components used to lower condensate water temperature, the performance of these cooling towers must be maintained. One way to determine the effect of the filler pack is to conduct an analysis to determine the effectiveness parameters of the cooling tower. The analysis was conducted using the range approach and heat transfer methods. The results showed that the heat transfer effectiveness before replacing the filler pack was 68%, while after the replacement, the effectiveness increased to 72%. This indicates that replacing the filler pack has succeeded in increasing the effectiveness of the cooling tower.*

**Keywords:** Effectiveness of cooling tower, filler pack, heat transfer method, range approach method.

## Abstrak

*Cooling tower merupakan suatu komponen yang digunakan untuk menurunkan temperature air kondensat dari hasil kondensor yang di pompa melalui hot well pump. Mengingat akan pentingnya cooling tower sebagai komponen yang digunakan untuk menurunkan temperature air kondensat, maka harus dijaga kinerja dari cooling tower tersebut. Salah satu cara untuk mengetahui pengaruh dari filler pack tersebut yaitu perlu dilakukan analisis untuk mengetahui parameter efektivitas cooling tower. Analisis dilakukan dengan menggunakan metode range approach dan perpindahan panas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efektivitas perpindahan panas sebelum pergantian filler pack adalah 68%, sedangkan setelah pergantian meningkat menjadi 72%. Hal ini menunjukkan bahwa pergantian filler pack berhasil meningkatkan efektivitas cooling tower.*

**Kata Kunci:** Efektivitas cooling tower, filler pack, metode perpindahan panas, metode range approach.

## 1. Pendahuluan

Indonesia kaya akan sumber daya panas bumi yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik melalui Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP). PLTP menggunakan uap panas bumi untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan listrik. Air kondensat dari turbin didinginkan di cooling tower sebelum dikembalikan ke kondensor. *Filler pack* di *cooling tower* membantu proses perpindahan panas antara udara dan air.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas *cooling tower* sebelum dan sesudah pergantian *filler pack*. Kinerja pendinginan yang baik ditunjukkan dengan performa yang dihasilkan saat analisis data.

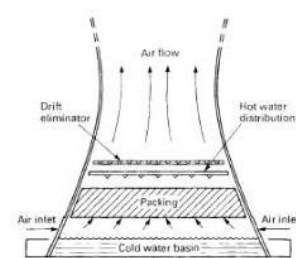
### 1.1 Cooling Tower

*Cooling Tower* merupakan suatu alat yang digunakan untuk menurunkan temperatur air dengan cara mengambil panas dari air dan membuangnya ke atmosfer. *Cooling tower* menggunakan penguapan yang di mana sebagian air diuapkan ke aliran udara yang bergerak dan kemudian dibuang ke atmosfer.

#### 1.1.1 Natural Draft Cooling Tower

Menara pendingin jenis ini memanfaatkan aliran udara alami tanpa menggunakan kipas. Udara panas

yang menyerap panas dari air akan naik ke atas menara karena massa jenisnya yang lebih kecil. Hal ini membuat ruang bagi udara dingin dari luar untuk masuk dan mendinginkan air.



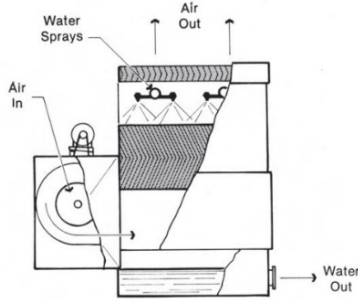
Gambar 1. Natural Draft Cooling Tower

#### 1.1.2 Mechanical Draft Cooling Tower

*Cooling tower* jenis ini menggunakan kipas untuk menggerakkan udara yang ada di dalam *cooling tower*. Aliran udara dapat dihisap oleh kipas (*induced draft*) atau dihembus oleh kipas (*forced draft*).

##### 1.1.2.1 Forced Draft Fan

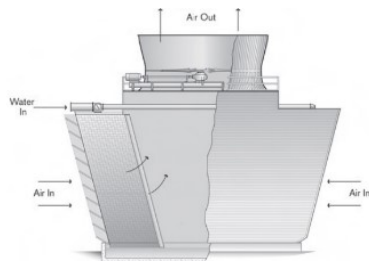
Pada menara pendingin ini, kipas terletak pada bagian bawah menara. Udara di paksa masuk melalui sisi menara lalu melewati bagian pengisi dan terjadilah perpindahan panas.



Gambar 2. Forced Draft Fan

1.1.2.2 Induced Draft Fan

Pada menara tipe aliran induksi, kipas diletakkan pada bagian atas dan menarik udara melalui menara. Udara memasuki sisi menara dengan kecepatan rendah melalui bukaan besar dan melewati bahan pengisi, sedangkan udara panas lembab dibuang ke atmosfer melalui bagian atas.

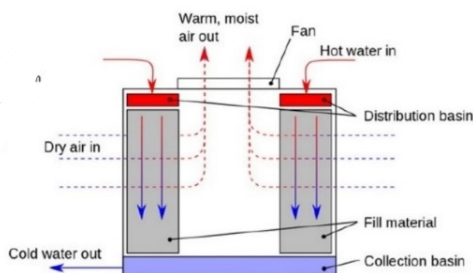


Gambar 3. Induced Draft Fan

Pada jenis ini, aliran udara dapat bersilangan (*cross flow*) atau dapat berlawanan arah dengan aliran air (*counter flow*).

1.1.2.2.1 Crossflow

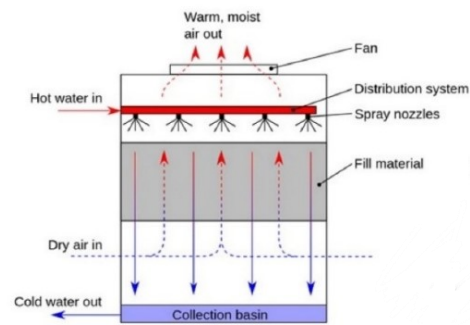
*Crossflow* adalah desain di mana aliran udara diarahkan tegak lurus terhadap aliran air. Aliran udara memasuki kisi-kisi cooling tower di mana aliran air mengalir tegak lurus dari udara karena pengaruh gravitasi.



Gambar 4. Crossflow

1.1.2.2.2 Counterflow

*Counterflow* adalah desain di mana aliran air yang disemprotkan oleh *nozzel* berlawanan arah dengan aliran udara. Udara mengalir ke atas melawan jatuhnya air ke bawah.



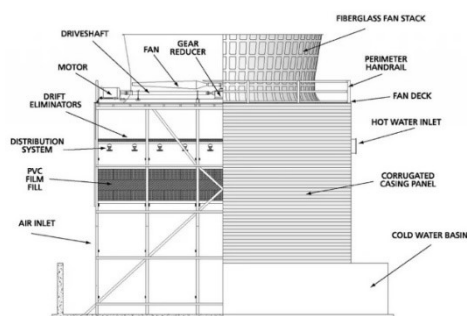
Gambar 5. Counterflow

1.2 Prinsip Kerja Cooling Tower

Prinsip kerja menara pendingin didasarkan pada perpindahan kalor. Dalam menara pendingin, perpindahan kalor terjadi dari air ke udara. Air panas yang berasal dari kondensator itu dialirkan melalui pipa dan disemprotkan secara merata oleh *nozzle* ke *filler pack*. *Filler pack* ini berfungsi sebagai media untuk terjadinya penukaran kalor, memecah butiran air menjadi lebih kecil sehingga perpindahan kalor menjadi lebih efisien. Udara yang berada di bawah menara pendingin akan dihisap oleh kipas menuju *drift eliminators*, yang fungsinya untuk memecah butiran air yang terbawa ke atas karena terhisap kipas. Udara panas yang terserap dari air akan naik ke atas dan keluar menuju atmosfer. Air yang sudah dingin karena terjadi perpindahan panas akan turun ke bawah dan menuju ke bak penampungan air sementara. Air dingin yang ditampung kemudian dipompa sehingga dapat digunakan kembali untuk mendinginkan mesin produksi dan disirkulasikan kembali ke *main condenser*.

1.3 Komponen Cooling Tower

Komponen dari menara pendingin meliputi rangka dan wadah, fill atau bahan pengisi, kolam air dingin atau bak, drift eliminators, fan. Berikut adalah penjelasan fungsi dari beberapa komponen *cooling tower*.



Gambar 6. Komponen Cooling Tower

a. Rangka dan Wadah

Menara pendingin umumnya terdapat rangka berstruktur yang menunjang tutup luar (wadah), motor, dan kipas.

b. Fill

*Fill* atau bahan pengisi digunakan untuk meningkatkan laju perpindahan panas.

c. Kolam air dingin

Kolam air dingin terletak di dekat bagian bawah menara, dan menerima air dingin yang mengalir turun melalui menara dan bahan pengisi.

#### d. Drift Eliminators

*Drift eliminators* digunakan untuk menangkap tetes-tetes air yang terjebak dalam aliran udara supaya tidak hilang ke atmosfer.

#### e. Fan

*Fan* digunakan untuk menghisap udara dari lingkungan, melewatkannya pada fill/bahan pengisi kemudian membuangnya ke lingkungan.

### 1.4 Filler Pack

*Filler pack* adalah suatu alat yang fungsinya sebagai tempat terjadinya proses pertukaran panas antara air dengan udara, dimana air akan menetes ke bawah menjadi butiran kecil dan udara dingin naik keatas. Air yang masuk ke dalam filler pack adalah air yang memiliki temperature yang cukup tinggi. Pada PT *Pertamina Geothermal Energy* area Kamojang sendiri biasanya air kondensat yang masuk *cooling tower* sebesar 42°C dan akan keluar untuk masuk ke dalam bak menjadi 26°C. Oleh karena itu, *fill* ini harus memiliki kinerja yang baik agar pendinginan yang terjadi lebih optimal.

### 1.5 Peran Filler Pack

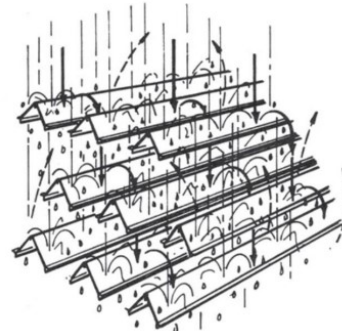
*Filler pack* berada di dalam sirkuit air *cooling tower* dan memiliki beberapa peran utama sebagai berikut.

1. Memaksimalkan area permukaan. *Filler pack* dirancang dengan struktur berpola dan permukaan yang berkeluk-keluk. Struktur ini membantu memaksimalkan area permukaan yang tersedia untuk kontak antara udara dan air. Dengan cara ini, panas dari air dapat lebih efisien ditransfer ke udara
2. Meningkatkan kontak antara udara dan air. *Filler pack* membantu menciptakan kondisi di mana air yang panas mengalir melalui filler pack sambil bersentuhan dengan udara yang mengalir ke atas melalui *cooling tower*. Ini memungkinkan pertukaran panas yang lebih efisien antara air dan udara.
3. Meningkatkan Turbulensi Air. Struktur *filler pack* dapat mengganggu aliran air, menciptakan turbulensi, dan memastikan bahwa air yang berkontak dengan udara mengalir dengan efektif. Hal ini membantu mencegah pembentukan lapisan batas di sekitar permukaan air, yang dapat mengurangi efisiensi pertukaran panas.
4. Mengurangi Penguapan. *Filler pack* juga dapat membantu mengurangi penguapan air yang berlebihan dari *cooling tower*. Hal ini dapat dilakukan dengan cara mengarahkan aliran udara ke arah vertikal melalui *filler pack*, sehingga udara panas yang keluar dari *cooling tower* tidak langsung memindahkan uap air.

#### 1.5.1 Jenis Filler Pack

##### A. Bahan pengisi jenis percikan (*Splash Fill*)

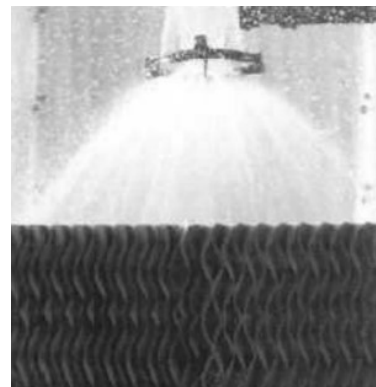
Aliran air didistribusikan secara merata ke atas permukaan bahan pengisi melalui batang pemercik *horizontal* yang tersusun. Air terpecah menjadi tetesan-tetesan kecil, lalu membasahi permukaan secara menyeluruh.



Gambar 7. *Splash Fill*

##### B. Bahan pengisi berbentuk film

Terbuat dari lembaran plastik tipis yang dipasang berdekatan dengan semprotan air di atasnya. Semprotan ini membentuk lapisan film tipis yang bersentuhan langsung dengan udara untuk perpindahan panas yang optimal. Permukaan film dapat datar, bergelombang, berlekuk, atau memiliki pola lainnya.



Gambar 8. *Film Fill*

### 1.6 Efektivitas Cooling Tower Metode Range Approach

Efektivitas menara pendingin (*cooling tower*) diukur untuk mengetahui performanya. Penelitian ini menganalisis efektivitas pendinginan dengan menggunakan nilai *approach dan range*.

$$\text{Efektivitas} = \frac{\text{Range}}{(\text{Range} + \text{Approach})} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

1. *Range* yaitu perhitungan dari selisih temperature air masuk dan keluar dari *Cooling Tower*
2. *Approach* yaitu perhitungan dari selisih temperature air keluar dari *Cooling Tower* dan *temperature wet bulb* (Twb).

### 1.7 Efektivitas Cooling Tower Metode Perpindahan Panas

#### 1.7.1 Menghitung Laju Udara

Laju udara dapat terdeteksi oleh alat. Tetapi, karena di PGE tidak terdeteksi maka ditentukan

berdasarkan neraca energi sehingga diasumsikan dengan rumus:

$$Q \text{ lepas} = Q \text{ terima}$$

$$Q = \dot{m}c\Delta T \tag{2}$$

$$\dot{m}u = \frac{\dot{m}a \times C_p a \times \Delta T_{air}}{C_p u \times \Delta T_{udara}}$$

Keterangan:

- $\dot{m}u$  : Laju alir udara (kg/s)
- $\dot{m}a$  : Laju alir air (kg/s)
- $C_p u$  : Kapasitas panas udara (kJ/kg)
- $C_p a$  : Kapasitas panas air (kJ/kg)
- $\Delta T_u$  : Selisih temperatur udara masuk dengan keluar (°C)
- $\Delta T_{air}$  : Perbedaan temperatur air masuk dengan keluar (°C)

### 1.7.2 Menghitung Kapasitas Pendingin

Apabila dua buah benda dengan temperature yang beda dicampurkan, maka kalor akan berpindah dari benda yang temperaturnya tinggi menuju benda yang bertemperatur rendah, sehingga kalor yang temperaturnya rendah sama dengan kalor yang dilepas benda bertemperatur tinggi. Kapasitas aliran kalor yaitu besarnya kalor yang dibutuhkan untuk mengubah 1°C temperature dari suhu aliran fluida yang mengalir.

$$C_u = \dot{m}u \times C_p u$$

$$C_a = \dot{m}a \times C_p a \tag{3}$$

Keterangan:

- $C_u$  : Kapasitas pendingin udara (kW)
- $C_a$  : Kapasitas pendingin air (kW)
- $\dot{m}u$  : Laju alir udara (kg/s)
- $C_p u$  : Kalor jenis udara (kJ/kg)
- $\dot{m}a$  : Laju alir air (kg/s)
- $C_p a$  : Kalor jenis air (kJ/kg)

### 1.7.3 Menghitung Koefisien Perpindahan Panas

#### 1.7.3.1 Menghitung Koefisien Konveksi Air

Pada proses perpindahan panas pada menara pendingin ini, fluida mengalir dengan menggunakan pompa, sehingga nilai koefisien pada air memakai rumus koefisien konveksi paksa dengan persamaan:

$$Re = \frac{\rho d v}{\mu} \tag{4}$$

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,3} \tag{5}$$

$$h_a = \frac{Nu \times k}{d} \tag{6}$$

#### 1.7.3.2 Menghitung Koefisien Konveksi Udara

Fluida udara pada proses penyerapan temperature air di menara pendingin dihisap karena pengaruh fan yang ada. Oleh karena itu udara terpaksa mendinginkan. Maka, digunakan rumus dengan persamaan:

$$Re = \frac{\rho d v}{\mu} \tag{7}$$

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4} \tag{8}$$

$$h_u = \frac{Nu \times k}{d} \tag{9}$$

Keterangan:

- $Re$  : Angka Reynolds
- $\rho$  : Massa jenis fluida (kg/m<sup>3</sup>)
- $d$  : diameter pipa (m)
- $v$  : kecepatan fluida (m/s)

- $\mu$  : viskositas dinamik fluida (kg/m.s)
- $C_p$  : kapasitas panas (kJ/kg)
- $k$  : konduktivitas Thermal PVC (W/m°C)
- $Nu$  : Angka Nusselt
- $h_u$  : Koefisien konveksi fluida (W/m°C)

### 1.7.3.3 Menghitung Perpindahan Panas Keseluruhan (U)

Koefisien perpindahan panas secara keseluruhan ini koefisien antar air dan udara, maka digunakan rumus persamaan:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{air}} + \frac{1}{h_{udara}}} \tag{10}$$

Keterangan:

- $h_a$  : koefisien konveksi air (W/m<sup>2</sup>. °C)
- $h_u$  : koefisien konveksi udara (W/m<sup>2</sup>. °C)

### 1.7.4 Menghitung NTU

Number of Transfer Units (NTU) merupakan metode untuk mendefinisikan efektivitas sebagai perbedaan laju perpindahan panas nyata dari fluida yang panas ke fluida dingin terhadap laju perpindahan panas maksimum yang mungkin dengan rumus:

$$NTU = \frac{uA}{c_{min}} \tag{11}$$

Keterangan:

- $U$  : koefisien perpindahan kalor keseluruhan (W/m<sup>2</sup>°C)
- $A$  : luas perpindahan panas (m<sup>2</sup>)
- $C_{min}$  : kapasitas kalor minimum (kJ/kg°C)

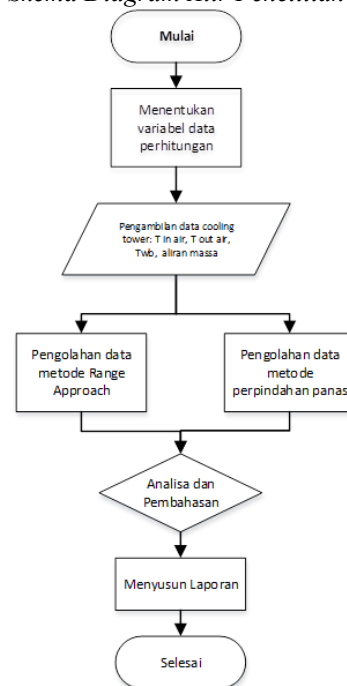
### 1.7.5 Menghitung Efektivitas

Rumus akhir untuk menentukan efektivitas panas yaitu sebagai berikut:

$$\epsilon = \frac{1 - \exp[-N(1-C)]}{1 - C \exp[-N(1-C)]} \tag{12}$$

## 2. Metodologi

### 2.1 Skema Diagram Alir Penelitian

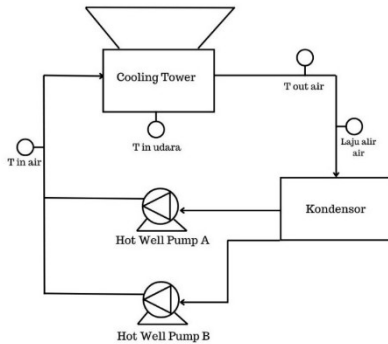


Gambar 9. Diagram Alir Penelitian

## 2.2 Alat dan Bahan Penelitian

### 2.2.1 Alat Penelitian

Cooling Tower tipe induced draft counterflow merupakan alat yang diteliti pada salah satu unit di PT PGE Kamojang dengan pengambilan data pada saat operasi sebelum dan sesudah pergantian filler pack dengan indicator dan alat ukur terpasang.



Gambar 10. Letak Alat Pengukuran

### 2.2.2 Bahan Penelitian

Pengambilan data yang didapatkan langsung dari control room. Data yang didapatkan antara lain:

Tabel 1. Data yang didapatkan

No	Nama Data	Jenis Data	Sumber Data	Data Didapatkan
1	Temperatur Masuk Air (°C)	Sekunder	Control Room	43,02 °C
2	Temperatur Keluar Air (°C)	Sekunder	Control Room	21,25 °C
3	Temperatur Masuk Udara (°C)	Sekunder	Control Room	11,33 °C
4	Temperatur Keluar Udara (°C)	Sekunder	Control Room	28,35 °C
5	Laju Aliran Air (kg/ms)	Sekunder	Control Room	2156,69 kg/ms

### 2.2.3 Pengolahan Data

Pengolahan data dalam penelitian ini dijabarkan sebagai berikut:

- Perhitungan laju udara
- Perhitungan Kapasitas Pendingin
- Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh
- Perhitungan NTU (Number of Transfer Unit)
- Perhitungan Efektivitas

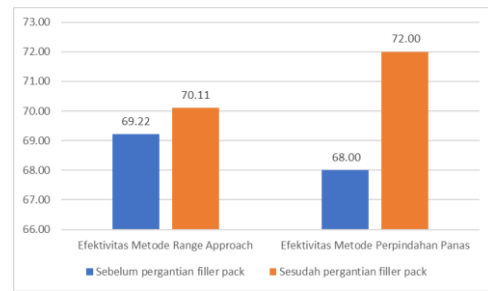
## 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dari perhitungan yang telah dilakukan yakni:

- Efektivitas Range Approach 68,71%
- Laju udara 11452,6807 kg/s
- Kapasitas Pendingin Air 9002,2 kw
- Kapasitas Pendingin Udara 11517,65 kw
- Perpindahan Panas Keseluruhan 92,91
- NTU 4,74
- Efektivitas *Cooling Tower* Perpindahan Panas 72%

Metode Range Approach menghitung efektivitas cooling tower dengan membandingkan selisih temperatur air panas yang masuk dan keluar cooling tower dengan selisih temperatur bola basah dan bola kering udara. Efektivitas cooling tower didefinisikan sebagai kemampuan cooling tower dalam mentransfer panas dari air panas ke udara.

Semakin tinggi nilai efektivitas, menunjukkan semakin baik cooling tower dalam mendinginkan air.



Gambar 11. Grafik Perbandingan Nilai Efektivitas

Berdasarkan grafik yang menunjukkan nilai efektivitas cooling tower sebelum dan sesudah pergantian filler pack dengan metode range approach, dapat disimpulkan bahwa terdapat peningkatan efektivitas cooling tower setelah pergantian filler pack yang semula saat sebelum pergantian filler pack 69,22% menjadi 70,11%. Hal ini berarti bahwa pergantian filler pack telah meningkatkan kemampuan cooling tower dalam mendinginkan air.

Pada diagram dengan menggunakan perpindahan panas, nilai efektivitas yang dihasilkan sebelum pergantian filler pack yaitu 68% dan sesudah pergantian filler pack 72%. Dapat disimpulkan juga bahwa pergantian filler pack telah meningkatkan kemampuan cooling tower dalam mendinginkan air.

## 4. Simpulan

Setelah dilakukan perhitungan dan analisis efektivitas cooling tower di PT PGE Kamojang Unit V, didapatkan Kesimpulan sebagai berikut

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pergantian filler pack meningkatkan efektivitas cooling tower. Sebelum pergantian, efektivitas cooling tower adalah 69,22%, dan setelah pergantian meningkat menjadi 70,11% berdasarkan metode range approach. Pengukuran dengan metode perpindahan panas juga menunjukkan peningkatan efektivitas dari 68% menjadi 72% setelah pergantian filler pack. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pergantian filler pack berhasil meningkatkan kemampuan cooling tower dalam mendinginkan air.
2. Efektivitas cooling tower setelah pergantian filler pack dapat diukur dengan beberapa parameter, antara lain:
  - a. Penurunan temperatur air yang dimana semakin rendah temperatur air keluar dari cooling tower, maka semakin efektif kinerjanya.
  - b. Peningkatan approach yaitu selisih antara temperatur air panas yang masuk ke cooling tower dengan temperatur wet bulb. Semakin kecil approach, maka semakin tinggi efektivitas cooling tower.
  - c. Peningkatan range yaitu selisih antara temperatur air panas yang masuk ke cooling tower dengan temperatur air dingin yang

keluar. Semakin besar range, semakin tinggi efektivitas cooling tower.

- d. Peningkatan efektifitas perpindahan panas, yang dimana Ketika nilai efektivitas semakin tinggi, maka semakin efektif kinerjanya.

Pada penelitian menunjukkan bahwa pergantian filler pack dapat meningkatkan efektivitas cooling tower secara signifikan. Pada penelitian ini menunjukkan bahwa pergantian filler pack dapat meningkatkan efektivitas dari 68 % menjadi 72 %. Hal ini mengakibatkan temperatur air keluar dari cooling tower turun dari 25°C menjadi 23°C. Selain itu, pergantian filler pack juga dapat meningkatkan cooling load cooling tower. Hal ini berarti bahwa cooling tower dapat melepaskan panas lebih banyak dengan filler pack yang baru.

#### Daftar Pustaka

- [1] Ahluriza, P., Sinaga, N. Review Pengaruh Range dan Approach terhadap efektivitas Cooling

Tower di PT. IP. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*. 2021, Vol 9(2): 134-142.

- [2] Fikri, M. I., Wuryanti, S., & Kurniasetiawati, A. S. *Perancangan Variasi Bentuk Filler pada Menara Pendingin Tipe Induced Draft Counterflow di PT Indolacto-Jakarta*. In *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*. 2022; vol 13:837-842.
- [3] Handoyo, Y. Analisis Performa Cooling Tower LCT 400 Pada PT XYZ. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. 2015, Vol 3:hal38-52.
- [4] Hensley, J. C. *Cooling tower fundamentals*. Kansas City: Marley Cooling Tower Company. 1985
- [5] Wuryanti, Sri. *Mekanisme Perpindahan Panas*. Yogyakarta: DEEPUBLISH. 2002.
- [6] Muhsin, A., & Pratama, Z. (2018). Analisis Efektivitas Mesin Cooling Tower Menggunakan Range and Approach. *Opsi*, 11(2), 119-124.