

Analisa Pengaruh Perubahan dan Pengaturan L/G Terhadap Range, Approach, dan Efektifitas Kinerja Menara Pendingin

Wahyu Panji Asmoro¹⁾, Diah Wilis Lestarining Basuki^{2*)}, Eko Budi Santoso³⁾

^{1,3}Teknik Mesin D3; Institut Teknologi Nasional Malang, ^{2*)}Teknik Industri S1; Institut Teknologi Nasional Malang

wilisbasuki@gmail.com

Abstract

Cooling towers are critical heat exchange systems designed to lower water temperature by dissipating heat into the atmosphere. They are classified into two primary types: natural draft and mechanical draft. Natural draft cooling towers, also known as hyperbolic towers, utilize the temperature gradient between the heated water and the surrounding air to drive airflow without mechanical assistance. In contrast, mechanical draft towers incorporate large fans to enhance air circulation and improve heat dissipation. The interaction between air and water, facilitated by fill material, optimizes heat transfer efficiency by increasing contact time. Evaluating the impact of operational adjustments on key performance metrics, including thermal range, approach, and overall efficiency, is essential for enhancing cooling tower performance. Additionally, these systems can serve as refrigerant coolers in air conditioning applications. This study investigates the influence of variations in the liquid-to-gas (L/G) ratio on cooling tower efficiency, with a focus on temperature reduction, thermal range, and approach. Experimental findings demonstrate that adjustments in operational parameters significantly affect these performance indicators. Under the tested conditions, the cooling tower achieved an effectiveness of 70.94%, with a thermal range of 19°C and an approach temperature of 7.8°C.

Keyword: cooling tower, heat transfer, performance, temperature.

Abstrak

Menara pendingin adalah perangkat yang berfungsi untuk menurunkan suhu air dengan menghilangkan panasnya dan melepaskannya ke udara. Secara umum, terdapat dua jenis utama menara pendingin, yaitu aliran alami dan aliran mekanis. Menara pendingin aliran alami, yang sering disebut sebagai menara hiperbolik, bekerja berdasarkan perbedaan suhu antara udara sekitar dan air panas di dalamnya, sehingga tidak memerlukan kipas untuk membantu aliran udara. Sebaliknya, menara pendingin aliran mekanis dilengkapi dengan kipas besar yang berfungsi untuk meningkatkan sirkulasi udara. Saat air mengalir dan menetes ke permukaan material pengisi, kontak antara udara dan air menjadi lebih lama, sehingga meningkatkan perpindahan panas dan efisiensi pendinginan. Penting untuk menganalisis bagaimana berbagai pengaturan dan penyesuaian dapat mempengaruhi jangkauan pendinginan, pendekatan suhu, serta kinerja keseluruhan menara pendingin. Selain itu, sistem ini juga dapat digunakan sebagai pendingin refrigeran dalam sistem pendingin udara. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh perubahan rasio L/G terhadap jangkauan pendinginan, pendekatan suhu, serta efisiensi operasional menara pendingin, sekaligus menentukan sejauh mana dampaknya terhadap penurunan suhu. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perubahan dalam pengaturan dapat mempengaruhi jangkauan pendinginan, pendekatan suhu, serta efektivitas operasional menara pendingin. Dalam penelitian ini, menara pendingin mencapai efektivitas sebesar 70,94%, dengan jangkauan pendinginan 19°C dan pendekatan suhu 7,8°C.

Kata Kunci: Menara Pendingin, Perpindahan Panas, Kinerja, Suhu

1. PENDAHULUAN

Air berperan sangat penting pada instalasi industri maupun pembangkit daya karena memiliki properti termodinamika yang sangat baik dan jumlah air akan menentukan jenis instalasi sistem pendingin yang digunakan pada industri tersebut. [1]

Menara pendingin digunakan untuk mendukung peningkatan produktivitas dan efisiensi dalam proses produksi mesin di sektor industri. Hal ini dikarenakan kebutuhan akan efisiensi tinggi dan suhu yang tepat agar proses kerja dapat berlangsung secara optimal.

Teknologi closed loop cooling system pada menara pendingin merupakan salah satu sistem sirkulasi pendingin yang banyak digunakan oleh industri karena tidak membutuhkan jumlah air yang banyak. [2]

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen semu, yang melibatkan pengamatan langsung untuk mengidentifikasi hubungan sebab-akibat melalui percobaan guna memperoleh data empiris. Dalam konteks ini, objek penelitian yang dianalisis adalah dampak perubahan dan pengaturan terhadap range, approach, serta efektivitas kinerja menara pendingin.

2.1. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Variabel terikat
 - *Range*
 - *Approach*
 - Efektivitas
2. Variabel bebas
 - Laju volume air pendingin
3. Variabel terkontrol
 - Putaran fan konstan
 - Waktu pengambilan tiap 5 menit sebanyak 10 kali setiap bukaan katup air pendinginnya.
 - Letak *spray nozzle* menyilang.
 - *Fill* dibuat dari bahan fiber.

2.2. Alat – Alat Penelitian yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Menara Pendingin
Menara pendingin yang digunakan adalah menara pendingin jenis *induce draft* dengan aliran berlawanan yang dilengkapi bak penampung air dari proses pendinginannya.
2. *Fan*
Digunakan untuk mengalirkan udara agar keluar menara. *Fan* yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut :
Model : EBNV-D
Daya : 1/6 HP
Voltage : 220

3. *Spray Nozzle*

Digunakan untuk menyemprotkan air masuk menara. *Spray nozzle* ini terbuat dari pipa PVC yang dilubangi kecil-kecil dan diletakkan menyilang.



Gambar 1. Menara Pendingin lengkap dengan *Fan* dan *Spray Nozzle*

4. Pompa

Digunakan untuk mensirkulasikan air panas yang akan didinginkan pada menara pendingin. Pompa yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Merk : Lecstart 700331

Daya out put : 0,40 HP



Gambar 2. Pompa

5. *Heater*

Dalam penelitian ini digunakan kondensator basah yang dihubungkan dengan kompresor sebagai pemanas air sebelum didinginkan di menara pendingin.



Gb. A



Gb. B

Gambar 3. Kondensator Basah (Gb. A), Kompresor (Gb. B)

6. Termometer

Termometer ini digunakan untuk mengukur temperatur air masuk dan keluar menara pendingin. Selain itu juga digunakan untuk mengukur temperatur dan kelembaban udara masuk dan keluar menara.



Gambar 4. Termometer

7. *Fill*

Merupakan media yang digunakan sebagai tempat terjadinya perpindahan panas pada menara pendingin.



Gambar 5. *Fill*

8. *Stopwatch*

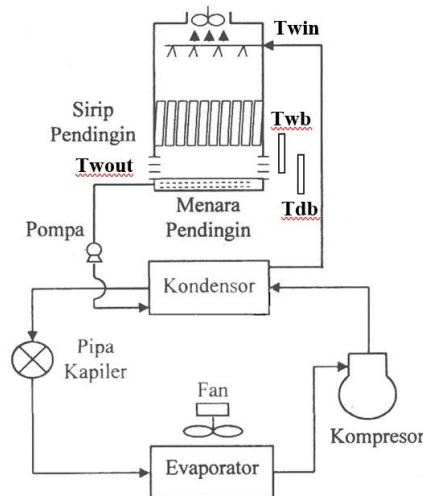
Digunakan sebagai pengatur waktu selama pengambilan data berlangsung. Pengambilan data dilakukan setiap 5 menit.



Gambar 6. *Stopwatch*

2.3. Instalasi Alat Penelitian

Susunan alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperti pada gambar berikut:



Gambar 7. Instalasi Alat Penelitian

2.4. Langkah – Langkah Pengambilan Data

Langkah – Langkah pengambilan data penelitian adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan alat-alat yang dibutuhkan dalam penelitian ini.
2. Menyalakan pompa bila air pada bak penampung sudah penuh.
3. Mengatur bukaan katup air pendingin dengan besar bukaan 20%.
4. Menyalakan *Fan* setelah *Spray Nozzle* menyemprotkan air pada *Fill*.
5. Menyalakan kompresor yang berfungsi sebagai pengaktif kondensor.
6. Melakukan pengambilan data temperatur air masuk dan keluar menara, temperatur bola basah dan temperatur bola kering udara masuk pada *louvers*.
7. Mengulangi langkah 4 sampai 7 untuk bukaan katup air pendingin dengan besar bukaan 40%, 60%, 80%, dan 100%.
8. Data dari pengamatan yang telah diambil diolah, kemudian dianalisa untuk melakukan pembahasan mengenai fenomena yang terjadi bila dihubungkan dengan teori yang ada.
9. Penarikan kesimpulan.

2.5. Mekanisme Heat Transfer

Heat transfer didefinisikan sebagai proses perpindahan energi thermal dari satu tempat ke tempat lainnya. Secara umum, ada tiga jenis mekanisme perpindahan panas : konduksi, radiasi dan konveksi. Secara spesifik, hanya konduksi dan radiasi yang dapat dikategorikan sebagai proses perpindahan panas karena kedua mekanisme ini bergantung pada perbedaan suhu untuk dapat berlangsung. Sementara itu, konveksi tidak dapat dikatakan sepenuhnya memenuhi definisi perpindahan panas karena juga melibatkan proses transportasi massa secara mekanis. Namun saat ini, mekanisme konveksi telah diterima secara luas karena tetap turut berperan dalam proses transmisi energi. [3]

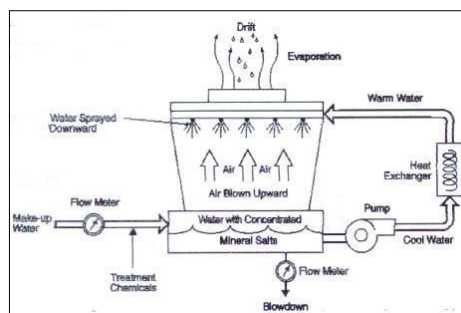
Fungsi dasar dari sistem pendingin adalah memindahkan panas yang dihasilkan selama proses produksi melalui turbin-turbin dengan cara yang paling efisien. Pada teknologi pendingin yang memanfaatkan air (sistem pendingin basah/ *wet cooling system*), pembuangan panas sangat bergantung proses penguapan dimana panas

pada aliran air diekstraksi kemudian diemisikan ke atmosfer. Sehingga air yang tersisa dapat didinginkan secara signifikan. [4], [5]

Dalam sistem terbuka dengan air sebagai fluida kerja, proses pendinginan dilakukan dengan mempertemukan air secara langsung dengan udara pendingin, sehingga terjadi transfer panas dari air ke udara. Pada umumnya, air bersuhu tinggi akan disemprotkan dari bagian atas, sementara udara kering mengalir dari bawah ke atas melalui louvers. Pada permukaan bahan pengisi, terjadi perpindahan panas antara air dan udara. Uap yang dihasilkan dari proses perpindahan panas ini kemudian dilepaskan ke atmosfer dengan bantuan kipas yang berfungsi untuk menarik uap panas dan mengalirkannya keluar ke udara bebas. [1], [6]

2.6. Menara Pendingin

Menara pendingin merupakan alat penurun suhu pada aliran air dengan cara menguapkan sebagian besar air ke udara sehingga panas hasil buangan produksi dapat dilepaskan ke atmosfer. Hasil kontak langsung dengan udara mengakibatkan penurunan suhu yang signifikan dan sebagian air yang tersisa juga lebih dingin karena ada perpindahan panas. [2], [7]

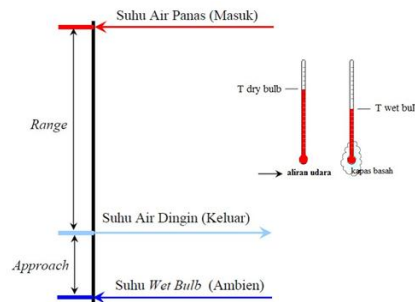


Gambar 8. Diagram Skematik Menara Pendingin
Sumber : *Laboratorium Nasional Pacific Northwest, 2001*

Karena menara pendingin basah sangat bergantung pada proses penguapan, maka keseluruhan efisiensi juga bergantung pada perbedaan suhu air yang bersirkulasi di menara serta suhu disekitar *wet bulb*. Dengan adanya perpindahan panas tersebut, maka keseimbangan laju alir massa air dan udara (L/G) menjadi sangat penting diperhatikan agar tidak terjadi kegagalan pendinginan pada menara pendingin. [8] [9]

2.7 Metode Range and Approach

Assessment pada cooling tower dapat dilakukan lewat metode range and approach, dimana metode ini dapat digunakan untuk mengetahui besaran efektivitas operasi pada rancangan, identifikasi area pemborosan energi hingga maintenance. [9]



Gambar 9. *Range* dan *Approach* menara pendingin

Range

Merupakan selisih suhu yang terjadi antara suhu air yang masuk dan keluar dari menara pendingin. Semakin tinggi nilai range yang diperoleh, maka berarti menara pendingin telah mampu menurunkan suhu air secara signifikan dan efektif. [9]

$$Range_{CT} = [T_{w_{in}} - T_{w_{out}}] \tag{1}$$

Dimana :

- Range* : Perbedaan suhu air masuk dan keluar (°C)
- CT* : Suhu air masuk menara pendingin (°C)
- $T_{w_{in}}$: Suhu air masuk menara pendingin (°C)
- $T_{w_{out}}$: suhu air keluar menara pendingin (°C)

Approach

Adalah selisih suhu yang terbentuk antara suhu air dingin yang keluar dari menara pendingin dengan suhu dari wet bulb ambien. Semakin rendah nilai approach yang didapat, artinya kinerja menara pendingin semakin baik. Walaupun begitu, range dan approach tetaplah harus dipantau. [9]

$$Approach_{CT} = [T_{w_{out}} - T_{w_b}] \tag{2}$$

Dimana :

- Approach* : Perbedaan suhu air keluar dan *CT* *wet bulb ambien* (°C)
- T_{w_b} : Suhu *wet bulb* ambien (°C)

Efektivitas

Merupakan perbandingan antara *range* dan *range* ideal (dalam prosentase), yaitu perbedaan antara suhu masuk air pendingin dan suhu *wet bulb* ambien. Semakin tinggi perbandingan ini, maka semakin tinggi efektivitas menara pendingin. [9]

$$Efektivitas_{CT} = \frac{[T_{w_{in}} - T_{w_{out}}]}{[T_{w_{in}} - T_{w_{out}}] + [T_{w_{out}} - T_{w_b}]} \times 100\%$$

$$Efektivitas_{CT} = \frac{[T_{w_{in}} - T_{w_{out}}]}{[T_{w_{in}} - T_{w_b}]} \times 100\% \tag{3}$$

Dimana

- Efektivitas* : Perbandingan *range* dan *CT* *range* ideal (%)

Perbandingan cair/gas (L/G)

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. Pengaturan dapat dilakukan dengan perubahan beban kontak air atau pengaturan sudut siripnya. Dalam aturan termodinamika, bahwa panas yang dibuang dari air harus sama dengan panas yang diserap oleh udara sekitarnya. [8]

Sehingga :

$$L [T_{w_{in}} - T_{w_{out}}] = G [h_2 - h_1]$$

$$\frac{L}{G} = \frac{[h_2 - h_1]}{[T_{w_{in}} - T_{w_{out}}]}$$
(4)

L/G : Perbandingan aliran massa cair terhadap gas (kg/kg)

h_1 : Enthalpi uap campuran udara-air pada suhu *wet bulb* masuk (kJ/kg)

h_2 : Enthalpi uap campuran udara-air pada suhu *dry bulb* keluar (kJ/kg)

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan sebanyak dua kali. Masing – masing pengujian diberikan waktu total 50 menit, dengan waktu pencatatan dilakukan setiap lima menit. Prosesntase bukaan katub menggunakan lima jenis prosentase, yaitu 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%. Berikut hasil pengujian yang telah dilakukan.

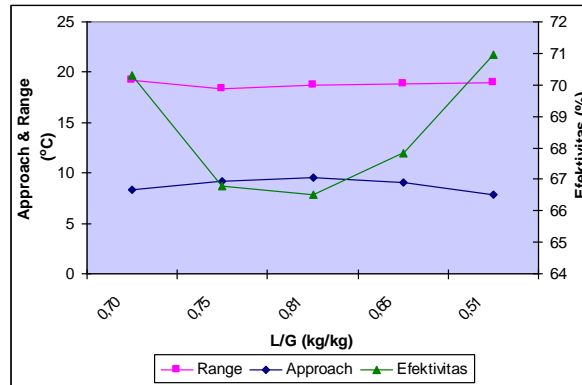
Tabel 1 : Hasil rata-rata pengolahan data pada pengujian pertama

No	Keterangan	Rata-Rata			
		Range (°C)	Approach (°C)	Efektifitas (%)	L/G (kg/kg)
1	Bukaan Katup 20%	19,2	8,3	70,31	0,6995
2	Bukaan Katup 40%	18,4	9,2	66,78	0,7544
3	Bukaan Katup 60%	18,7	9,5	66,51	0,8131
4	Bukaan Katup 80%	18,8	9	67,83	0,6475
5	Bukaan Katup 100%	19	7,8	70,94	0,5086

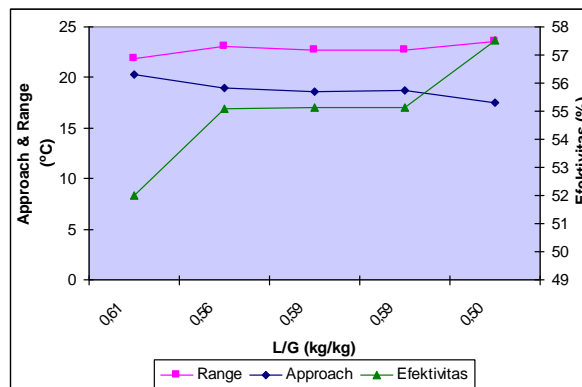
Tabel 2 : Hasil rata-rata pengolahan data pada pengujian kedua

No	Keterangan	Rata-Rata			
		Range (°C)	Approach (°C)	Efektifitas (%)	L/G (kg/kg)
1	Bukaan Katup 20%	21,8	20,3	51,99	0,6125
2	Bukaan Katup 40%	23,1	19	55,1	0,5582
3	Bukaan Katup 60%	22,7	18,6	55,12	0,5912
4	Bukaan Katup 80%	22,7	18,7	55,12	0,5912

5	Bukaan Katup 100%	23,6	17,6	57,53	0,5042
---	-------------------	------	------	-------	--------



Grafik 1. Grafik perbandingan pengaruh perubahan dan pengaturan L/G terhadap *range*, *approach* dan efektivitas kinerja menara pendingin pada pengujian kesatu



Grafik 2. Grafik perbandingan pengaruh perubahan dan pengaturan L/G terhadap *range*, *approach* dan efektivitas kinerja menara pendingin pada pengujian kedua

Berdasarkan analisis terhadap kedua grafik yang disajikan, perubahan serta pengaturan tertentu memiliki dampak signifikan terhadap temperatur air yang keluar dari menara pendingin. Fenomena ini secara langsung memengaruhi variasi nilai Range dan Approach, serta turut berkontribusi terhadap efektivitas kinerja menara pendingin. Secara lebih spesifik, peningkatan suatu parameter tertentu berbanding lurus dengan kenaikan nilai Approach, namun berbanding terbalik dengan nilai Range serta efektivitas menara pendingin.

4. KESIMPULAN

Besarnya perubahan dan pengaturan *L/G* dapat mengakibatkan penurunan temperatur air yang besar, yaitu pada pengujian kesatu dengan perubahan dan pengaturan *L/G* 0,8131 (kg/kg) hingga 0,5086 (kg/kg) mengakibatkan penurunan temperatur dari temperatur air masuk menara pendingin ($T_{w_{in}}$) = 51 (°C) diperoleh temperatur air keluar menara pendingin ($T_{w_{out}}$) = 30 (°C). Sedangkan pada pengujian kedua dengan perubahan dan pengaturan *L/G* 0,6125 (kg/kg) s/d 0,5042 (kg/kg) mengakibatkan penurunan

temperatur dari temperatur air masuk menara pendingin ($T_{w_{in}}$) = 65 (°C) diperoleh temperatur air keluar menara pendingin ($T_{w_{out}}$) = 40 (°C).

5. REFERENSI

- [1] K. S. Vishwakarma, A. S. Bhojar, S. K. Larokar, V. V Hote, and S. Bhudhbaware, "Study the factors on which efficiency of cooling tower can be critically acclaimed (A case Study)," *Journal of Engineering Research and Applications - IJERA*, vol. 5, no. 4, pp. 73–79, Apr. 2015.
- [2] R. S. Putra, "Analisa Perhitungan Beban Cooling Tower Pada Fluida di Mesin Injeksi Plastik," *JTM*, vol. 4, no. 2, pp. 56–62, Jun. 2015.
- [3] 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*, vol. 9, no. 1, pp. 114–119, Mar. 2023, doi: <https://doi.org/10.33795/distilat.v9i1>.
- [4] F. Kreith, R. M. Manglik, and M. S. Bohn, *Principles of Heat Transfer*, 7th ed. Stamford: Cengage Learning - Global Engineering, 2011.
- [5] P. Ahluriza and N. Sinaga, "Review Pengaruh Range Dan Approach Terhadap Efektivitas Menara Pendingin Unit 2 Di PT. Indonesia Power Kamojang," *Energi dan Kelistrikan: Jurnal Ilmiah*, vol. 13, no. 2, pp. 141–149, Dec. 2021.
- [6] H. P. Siallagan, "Analisis Kinerja Cooling Tower 8330 CT01 pada Water Treatment Plant-2 PT. Krakatau Steel (PERSERO).TBK," *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*, vol. 6, no. 3, pp. 215–219, Jun. 2017.
- [7] O. Triyansah and Y. Witanto, "Efektifitas Cooling Tower Fan 6P-4051-GB di PT. Pupuk Sriwidjaja Sektor STG-BB, Palembang Sumatra Selatan," *REKAYASA MEKANIK*, vol. 4, no. 1, pp. 9–12, Apr. 2020.
- [8] Ach. T. H, D. Listyadi, and H. Sutjahjono, "Analisis Beban Kalor Cooling Tower Induced Draft," *Artikel Ilmiah Hasil Penelitian Mahasiswa Tahun 2014*, pp. 1–5, 2014.
- [9] Komarudin, R. Saputra, and S. Y. Baskoro, "Analisis Pengaruh Penyerapan Kalor Terhadap Efisiensi Cooling Tower pada Tungku Induksi Pengecoran Logam di Polman Astra6t," *Bina Teknika*, vol. 13, no. 1, pp. 11–21, Jun. 2017.