

Studi Eksperimental Pengaruh Konfigurasi Penampang Sekat Terhadap Kinerja *Novel Cooling Tower Prototype*

Dedi Afandi*¹, Ahmad Syuhada², Ratna Sary³, Zulfan⁴, Asra Yufandi⁵

^{1,2,3,4,5}Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, 23111 Indonesia

e-mail: *¹dediafandi@unsyiah.ac.id, ²ahmadsyuhada@unsyiah.ac.id, ³ratnasary_ft@unsyiah.ac.id,
⁴zulfanstmt@unsyiah.ac.id, ⁵asrayufandi@mhs.unsyiah.ac.id

Abstrak

Cooling tower banyak diaplikasikan di industri seperti pada pembangkit tenaga listrik dan kilang minyak, dimana pada peralatannya menghasilkan kelebihan panas yang perlu dibuang. Pengaruh konfigurasi penampang sekat terhadap kinerja prototipe novel cooling tower dikaji secara eksperimental. Konfigurasi Penampang sekat yang digunakan yaitu penampang sekat tanpa lubang, penampang sekat dengan 15 lubang, penampang sekat dengan 25 lubang, dan penampang sekat dengan 35 lubang. Temperatur inlet air divariasikan yaitu 55°C, 75°C, dan 90 °C. air dialirkan dari bak penampung utama menuju bak penampung atas menggunakan pompa, air dari bak penampung atas jatuh kebawah mengenai sekat-sekat pada cooling tower. Temperatur air inlet, temperatur air outlet, dan temperatur air pada tiap sekat diukur menggunakan termokopel. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa cooling tower dengan penampang sekat 35 lubang menghasilkan kinerja yang paling optimal. Laju perpindahan panas yang dihasilkan cooling tower dengan penampang sekat 35 lubang pada temperatur inlet 55°C yaitu 624,64 Watt. Pada temperatur inlet air 75°C laju perpindahan panas rata-rata yang dihasilkan cooling tower dengan penampang sekat 35 lubang meningkat 42,6% dari temperatur inlet air 55°C. Rata-rata laju perpindahan panas yang dihasilkan cooling tower dengan penampang sekat 35 lubang pada temperatur inlet air 90°C meningkat 20% dari temperatur inlet air 75°C. Hal ini dikarenakan pada cooling tower dengan penampang sekat 35 lubang menyebabkan butiran air yang melewati sekat terpecah menjadi semakin banyak sehingga laju perpindahan semakin tinggi.

Kata kunci: *cooling tower, laju perpindahan panas, koefisien perpindahan panas, range temperatur*

Abstract

Cooling towers are widely applied in industries such as power plants and oil refineries, where the equipment produces excess heat that needs to be removed. The effect of baffles configuration on the performance of the novel cooling tower prototype was studied experimentally. The configuration of the baffles used is the baffle section without holes, the baffle section with 15 holes, the baffle section with 25 holes, and the baffle section with 35 holes. The water inlet temperature was varied, namely 55°C, 75°C, and 90°C. water is flowed from the main reservoir to the upper reservoir of the cooling tower using a pump, and water from the upper reservoir falls on the baffles of the cooling tower. Inlet water temperature, outlet water temperature, and water temperature at each baffle were measured using a thermocouple. The results showed that the cooling tower with a baffle of 35 holes produced the most optimal performance. The heat transfer rate produced by the cooling tower with a 35-hole baffle at an inlet temperature of 55°C is 624.64 Watts. At the water inlet temperature of 75°C, the

average heat transfer rate produced by the cooling tower with a 35-hole baffle increased by 42.6%. The average heat transfer rate produced by a cooling tower with a 35-hole baffle at a water inlet temperature of 90°C increased by 62.6%. This is because the cooling tower with a baffle of 35 holes causes the water droplets that pass through the baffle to split into more and more so that the heat transfer rate is higher.

Keywords: *cooling tower, heat transfer rate, heat transfer coefficient, temperature range*

1. PENDAHULUAN

Kelebihan panas yang dihasilkan peralatan industri seperti pada pembangkit listrik dan kilang minyak harus di buang karena dapat merusak peralatan yang digunakan. *Cooling tower* (menara pendingin) merupakan alat yang tak terpisahkan pada setiap siklus termodinamika yang berlangsung pada peralatan industri, dimana kinerja *cooling tower* akan mempengaruhi efisiensi dari keseluruhan sistem secara signifikan. *Cooling tower* berfungsi untuk mendinginkan air yang telah digunakan pada sistem pendinginan peralatan industri. Proses perpindahan panas pada *cooling tower* terjadi secara kontak langsung, dimana air yang akan didinginkan mengalami kontak langsung dengan udara yang bertindak sebagai media pendingin. Air yang telah didinginkan selanjutnya ditampung di dalam bak penampungan untuk digunakan kembali sebagai media pendingin pada sistem pendinginan peralatan industri [1].

Peningkatan kinerja *cooling tower* masih menjadi perhatian utama desainer dan produsen *cooling tower*. Hal ini mendorong banyak peneliti melakukan kajian untuk meningkatkan kinerja dari *cooling tower*. Xiaoxiao Li et al. [2] melakukan kajian untuk meningkatkan kinerja *cooling tower* dengan cara mengoptimalkan laju aliran massa air panas di dalam penukar kalor berpendingin udara. Mehdi Rahmati et al. [3] melakukan kajian eksperimental tentang pengaruh kerapatan *cooling tower* terhadap peningkatan kinerjanya. P. Navarro et al. [4] membuat prototipe *cooling tower* baru jenis *wet cooling tower* untuk menganalisa kinerja dan emisi yang dihasilkan. H. A. Mejbil et al. [5] melakukan kajian ekperimental untuk mengkaji pengaruh bentuk sirip terhadap kinerja *cooling tower* jenis *heat sink radiator*.

Zhikang Yu et al. [6] mengembangkan metode baru yang merupakan kombinasi perpindahan panas yang diterapkan pada *cooling tower*, dimana metode tersebut mampu mengurangi kerugian akibat penguapan. Chamanthi J. et al [7] mengembangkan model hibrid untuk memprediksi kinerja termal *cooling tower* arus balik kontak langsung. Akurasi prediksi yang tinggi dan kesederhanaan model memungkinkan untuk memantau kinerja realtime dan optimalisasi parameter operasional *cooling tower*. N. Gilani et al. [8] mengembangkan konfigurasi baru shower *cooling tower* dengan pola aliran berlawanan arah dan sistem pengering cair yang dilengkapi dengan sistem pendingin internal. Litium klorida digunakan sebagai penyerap, konfigurasi ini dikembangkan dan dimodelkan secara terpisah dan matematis.

W. Wang et al. [9] melakukan kajian tentang peningkatan kinerja natural draft dry *cooling tower* (NDDCT) pada angin silang melalui rekonstruksi bidang aliran masuk. Hasilnya menunjukkan efek negatif dari angin silang pada kinerja NDDCT dapat diubah menjadi positif. Rui Zhao et al. [10] melakukan kajian tentang kinerja termal bundel tube penukar kalor bersirip elip baru pada *cooling tower*. Tube bersirip elip baru mampu meningkatkan kinerja termal secara signifikan pada closed wet *cooling tower* dan mengurangi konsumsi energi pada *cooling tower*. Lei Jiang et al. [11] melakukan

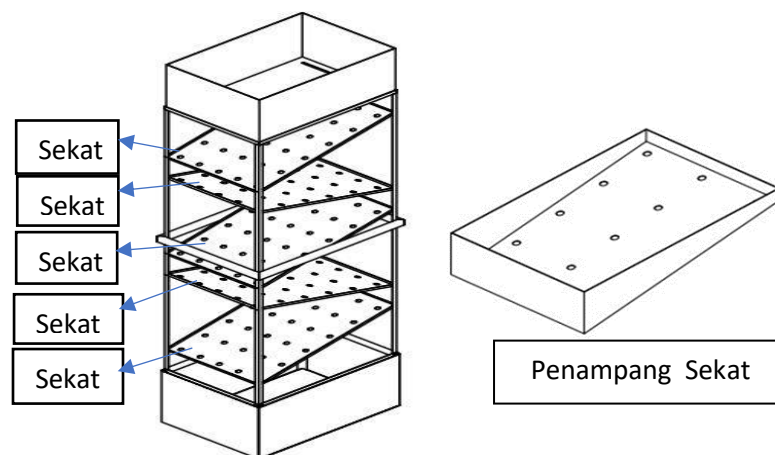
kajian tentang pengaruh penghalang kebisingan dan kisi-kisi pada ventilasi serta kinerja termal cooling tower basah pada kondisi angin silang.

R. Al-Waked et al. [12] melakukan kajian secara numerik tentang pengaruh dinding penahan angin pada kinerja natural draft wet cooling tower pada kondisi angin silang. Hasilnya menunjukkan pemasangan dinding padat pada inlet cooling tower mampu meningkatkan kinerjanya pada semua kecepatan angin silang yang diinvestigasi. A. Hamid et al. [13] melakukan kajian tentang pengaruh bentuk dan konfigurasi alur sekat terhadap kinerja cooling tower. Hasilnya menunjukkan bahwa bentuk dan konfigurasi alur sekat mempengaruhi kinerja cooling tower, dimana bentuk lingkaran menghasilkan kinerja yang lebih besar dibandingkan bentuk segitiga.

Berdasarkan penelitian yang telah banyak dilakukan sebelumnya untuk meningkatkan kinerja dari cooling tower, inovasi untuk meningkatkan kinerja cooling tower masih menjadi perhatian utama. Oleh karena itu pada penelitian ini mengkaji pengaruh konfigurasi penampang sekat terhadap kinerja pada prototipe *novel cooling tower*. Data range perbedaan temperatur inlet air dan temperatur outlet air selanjutnya dianalisis untuk mendapatkan laju perpindahan panas dan koefisien perpindahan panas. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mendapatkan konfigurasi penampang sekat cooling tower yang menghasilkan kinerja paling optimal. Dimana cooling tower menghasilkan laju perpindahan panas dan koefisien perpindahan panas yang paling tinggi.

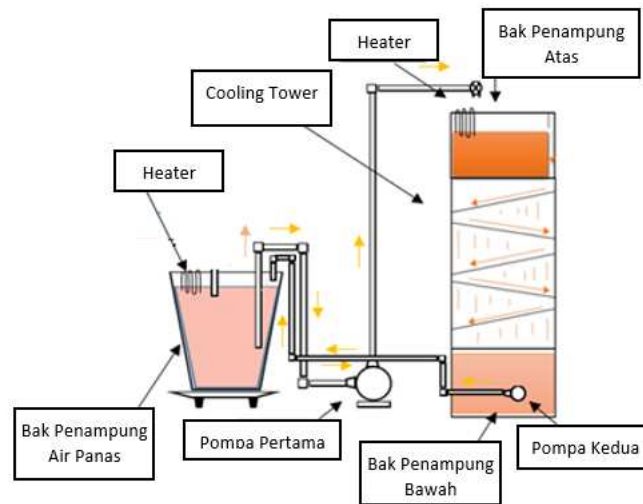
2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan *cooling tower* jenis *natural draft cooling tower* yang dirancang dengan bentuk baru. Rangka cooling tower dibuat menggunakan besi siku, bak penampungan dan sekat di buat menggunakan aluminium dengan ketebalan 0,2 mm. Total tinggi *cooling tower* 2,4 m, dimensi cooling tower 0,5 x 0,7 m. kemiringan sekat 15°. Konfigurasi *cooling tower* yang digunakan pada penelitian ini ditampilkan pada Gambar 1. Pada penelitian ini menggunakan 4 variasi penampang sekat yaitu penampang sekat tanpa lubang, penampang sekat 15 lubang, penampang sekat 25 lubang, dan penampang sekat 35 lubang.



Gambar 1 Konfigurasi cooling tower

Penelitian ini dilakukan dengan mengalirkan air dari bak penampung utama ke bak penampung atas cooling tower sehingga air dari bak penampung atas jatuh dan mengalir ke seluruh plat hingga menuju bak penampung bawah. Temperatur air masuk cooling tower divariasikan yaitu 55°C, 75°C, dan 90°C. Pada bak penampung utama dan bak penampung atas temperatur air dijaga konstan dengan menggunakan heater. Temperatur air masuk, temperatur air pada plat, dan temperatur air saat jatuh dari satu plat menuju plat lainnya hingga temperatur air keluar diukur dengan menggunakan termokopel. Pengambilan data pada setiap variasi dilakukan dengan 4 tahap dengan selisih 2 jam. Dalam satu tahap, data diambil setiap menit selama 5 menit. Skematik proses penelitian ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skematik Penelitian

2.1 Reduksi data

Perpindahan panas pada penukar kalor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\dot{Q} = \dot{m} C_p (T_i - T_o) \quad (1)$$

Dimana \dot{Q} merupakan laju perpindahan panas (W), \dot{m} adalah laju aliran massa (kg/s) air yang mengalir dalam penukar kalor. C_p adalah panas spesifik dari air ($J/kg \cdot K$) pada temperatur film ($T_f = \frac{T_i + T_o}{2}$). T_i and T_o masing-masing adalah temperatur air masuk dan temperatur air keluar penukar kalor.

Koefisien perpindahan panas konveksi dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$h = \frac{\dot{Q}}{A \cdot \Delta T_m} \quad (2)$$

Dimana h merupakan koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2 \cdot K$), A adalah luas area perpindahan panas (m^2). ΔT_m adalah perbedaan temperatur antara permukaan penukar kalor (T_s) dengan temperatur lingkungan (T_∞), yang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$T_s = \frac{T_{in,hot} + T_{out,hot}}{2} \text{ and } T_\infty = \frac{T_{in,cold} + T_{out,cold}}{2} \quad (3)$$

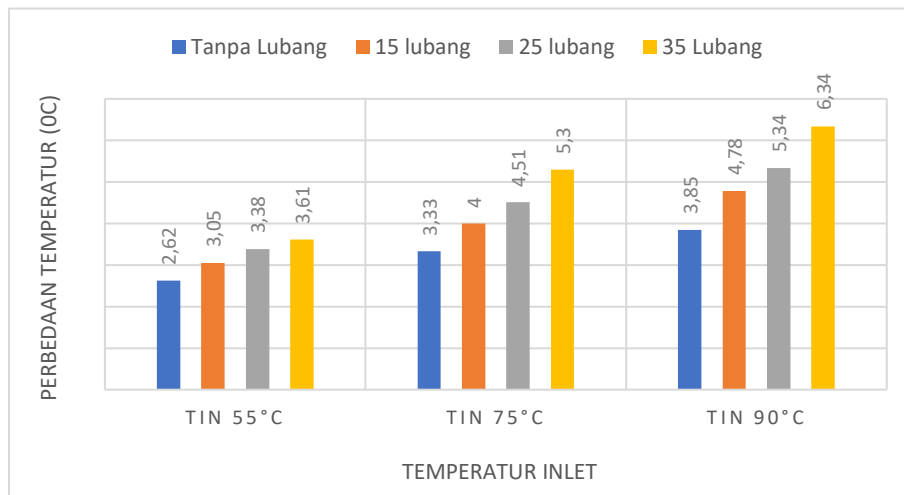
Laju aliran massa fluida dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot v \quad (4)$$

Dimana \dot{m} adalah laju aliran massa fluida (kg/s), ρ adalah massa jenis fluida (kg/m^3), dan v merupakan kecepatan aliran fluida yang melalui penukar kalor (m/s)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

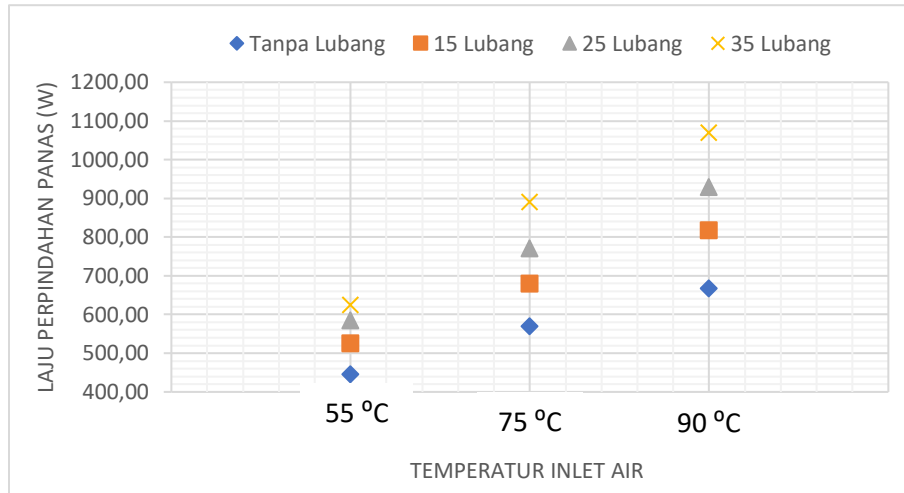
3.1 Distribusi Temperatur



Gambar 3 Pengaruh jumlah lubang penampang penampang sekat terhadap distribusi temperatur pada cooling tower

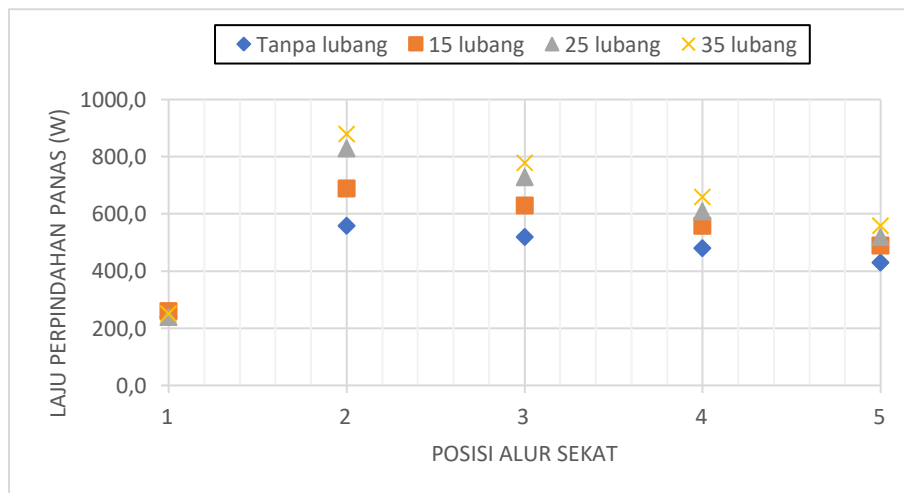
Gambar 3 menunjukkan *range* perbedaan temperatur air masuk dan temperatur air keluar *cooling tower* pada temperatur inlet air 55°C, 75°C, dan 90°C. Pada *cooling tower* dengan penampang sekat tanpa lubang perbedaan temperatur yang dihasilkan yaitu 2,62°C, 3,33°C, dan 3,85°C. Pada *cooling tower* dengan penampang sekat 15 lubang perbedaan temperatur yang dihasilkan yaitu 3,05°C, 4°C, dan 4,78°C. *Cooling tower* dengan penampang sekat 25 lubang menghasilkan perbedaan temperatur 3,38°C, 4,51°C, dan 5,34°C. Sedangkan pada *cooling tower* dengan penampang sekat 35 lubang perbedaan temperatur yang dihasilkan yaitu 3,61°C, 5,3°C, dan 6,34°C. *Range* perbedaan temperatur yang dihasilkan pada *cooling tower* dengan penampang sekat 35 lubang adalah yang paling besar, dimana lebih besar 15,3% dari *cooling tower* dengan penampang sekat 25 lubang. Lebih besar 28,9% dari *cooling tower* dengan penampang sekat 15 lubang dan 60% lebih besar dari *cooling tower* dengan penampang sekat tanpa lubang.

3.2 Laju Perpindahan Panas

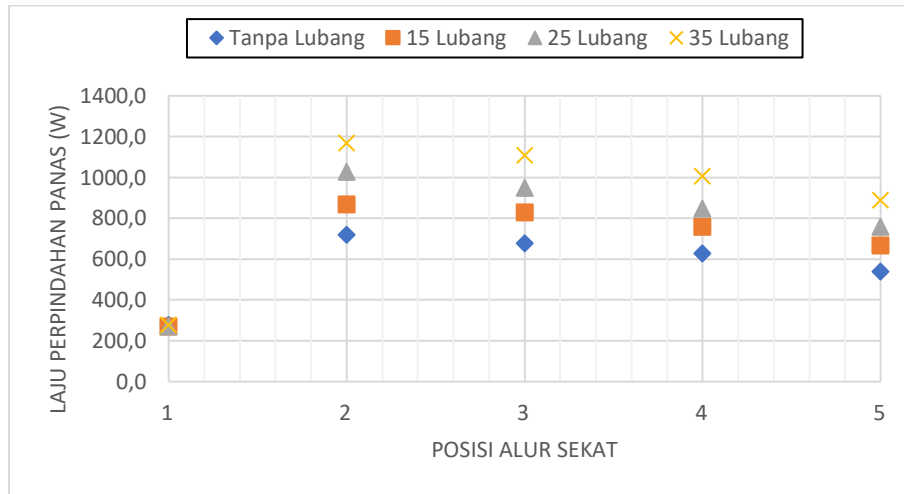


Gambar 4 Rata-rata laju perpindahan panas pada cooling tower dengan temperatur inlet air 55°C, 75°C, dan 90°C

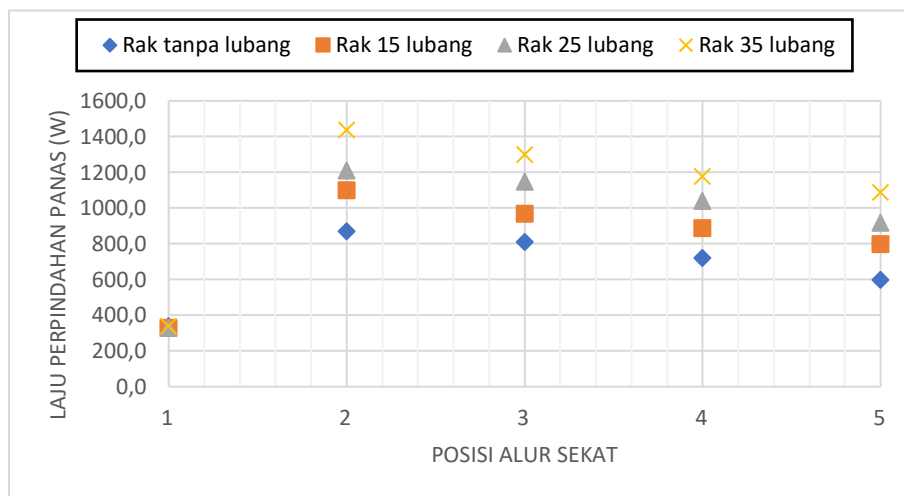
Gambar 4 menunjukkan rata-rata laju perpindahan panas pada *cooling tower* dengan variasi temperatur inlet air, yaitu 55°C, 75°C, dan 90°C. *Cooling tower* dengan penampang sekat 35 lubang menghasilkan laju perpindahan panas yang paling tinggi pada semua variasi temperatur inlet. Pada temperatur inlet air 55°C rata-rata laju perpindahan panas yang dihasilkan *cooling tower* dengan penampang sekat 35 lubang yaitu 624,62 Watt. Sedangkan pada temperatur inlet air 75°C laju perpindahan panas rata-rata yang dihasilkan *cooling tower* dengan penampang sekat 35 lubang meningkat 42,6% dari temperatur inlet air 55°C. Rata-rata laju perpindahan panas yang dihasilkan *cooling tower* dengan penampang sekat 35 lubang pada temperatur inlet air 90°C meningkat 20% dari temperatur inlet air 75°C.



(a)



(b)



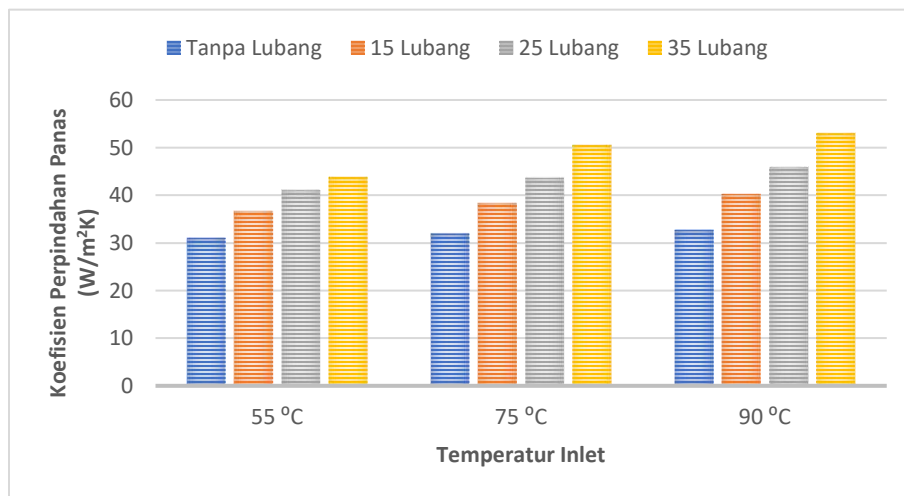
(c)

Gambar 4 Laju perpindahan panas pada tiap tingkatan sekat cooling tower pada temperatur inlet air (a) 55°C, (b) 75°C, dan (c) 90°C

Gambar 4 menunjukkan laju perpindahan panas pada tiap tingkatan penampang sekat cooling tower pada temperatur inlet air (a) 55°C, (b) 70°C, dan (c) 90°C. Pada setiap variasi temperatur inlet air terlihat bahwa laju perpindahan tertinggi terjadi pada sekat kedua, kemudian semakin menurun pada sekat ketiga sampai sekat kelima. Sedangkan pada sekat pertama laju perpindahan panas identik untuk semua variasi temperatur inlet air dan variasi konfigurasi penampang sekat. Pada cooling tower dengan penampang sekat 35 lubang dan temperatur inlet air 90°C, laju perpindahan panas pada sekat kedua meningkat 323,5% dari sekat pertama. Sedangkan pada sekat ketiga laju perpindahan panas menurun 9,7% dari sekat kedua, dan pada sekat keempat laju perpindahan panas menurun 9,2%. Kemudian laju perpindahan panas pada sekat kelima menurun 7,6% dari sekat keempat.

Hal ini dikarenakan jumlah panas yang diserap oleh udara pada sekat kedua lebih besar daripada jumlah panas yang diserap pada sekat lainnya. Sedangkan pada sekat pertama jumlah panas yang diserap udara masih sangat kecil dikarenakan jarak dengan titik air jatuh terlalu dekat dan butiran air belum terpecah karena lubang pada penampang sekat. Semakin kecil butiran air akan semakin banyak jumlah panas yang diserap oleh udara, dikarenakan luas bidang permukaan perpindahan panas akan semakin besar.

3.3 Koefisien Perpindahan Panas



Gambar 5 Koefisien perpindahan panas konveksi pada cooling tower dengan temperatur inlet air 55°C, 75°C, dan 90°C

Gambar 5 menunjukkan rata-rata koefisien perpindahan panas konveksi yang dihasilkan cooling tower pada tiap variasi temperatur inlet air. Pada temperatur inlet air 55°C, koefisien perpindahan panas konveksi paling tinggi dihasilkan pada cooling tower dengan penampang sekat 35 lubang yaitu 43,83 W/m²K. Dimana koefisien perpindahan panas pada cooling tower dengan penampang sekat 35 lubang meningkat 15,2% pada temperatur inlet air 75°C. Sedangkan pada temperatur inlet air 90°C koefisien perpindahan panas konveksi pada cooling tower dengan penampang sekat 35 lubang meningkat 20,8%.

Koefisien perpindahan panas konveksi sangat dipengaruhi oleh laju perpindahan panas dan perbedaan temperatur. Semakin besar laju perpindahan panas dan range perbedaan temperatur maka koefisien perpindahan panas konveksi juga akan semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa koefisien perpindahan panas konveksi sangat mempengaruhi kinerja dari cooling tower.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan dapat disimpulkan bahwa cooling tower dengan penampang sekat 35 lubang menghasilkan kinerja yang paling optimal. Laju perpindahan panas yang dihasilkan cooling tower dengan penampang sekat 35 lubang pada temperatur inlet 55°C yaitu 624,64 Watt. Pada temperatur inlet air 75°C laju perpindahan panas rata-rata yang dihasilkan cooling tower dengan penampang sekat 35 lubang meningkat 42,6%. Rata-rata laju perpindahan panas yang dihasilkan cooling tower dengan penampang sekat 35 lubang pada temperatur inlet air 90°C meningkat 62,6%. Pada temperatur inlet air 55°C, koefisien perpindahan panas konveksi paling tinggi dihasilkan pada cooling tower dengan penampang sekat 35 lubang yaitu 43,83 W/m²K. Dimana koefisien perpindahan panas pada cooling tower dengan penampang sekat 35 lubang meningkat 15,2% pada temperatur inlet air 75°C. Sedangkan pada temperatur inlet air 90°C koefisien perpindahan panas konveksi pada cooling tower dengan penampang sekat 35 lubang meningkat 20,8%. Hal ini dikarenakan pada cooling tower dengan penampang sekat 35 lubang menyebabkan butiran air yang melewati sekat terpecah menjadi semakin banyak sehingga laju perpindahan semakin tinggi.

5. SARAN

Pada penelitian yang telah dilaksanakan didapatkan bahwa semakin banyak jumlah lubang semakin bagus kinerja dari cooling tower. Hal ini perlu dibuktikan lebih lanjut dengan variasi jumlah lubang yang lebih banyak pada penelitian berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yunus A. Cengel, and Michael A. Boles, 2006 "Thermodynamics an Engineering Approach" 5th edition, McGraw-Hill, New York
- [2] X. Li, L. Xia, H. Gurgenci, dan Z. Guan, "Performance enhancement for the natural draft dry cooling tower under crosswind condition by optimizing the water distribution," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 107, hal. 271–280, 2017, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.11.046.
- [3] M. Rahmati, S. R. Alavi, dan M. R. Tavakoli, "Experimental investigation on performance enhancement of forced draft wet cooling towers with special emphasis on the role of stage numbers," *Energy Convers. Manag.*, vol. 126, hal. 971–981, 2016, doi: 10.1016/j.enconman.2016.08.059.
- [4] P. Navarro, J. Ruiz, M. Hernández, A. S. Kaiser, dan M. Lucas, "Critical evaluation of the thermal performance analysis of a new cooling tower prototype," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 213, 2022, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2022.118719.
- [5] H. A. Mejbil dan H. M. Jaffal, "Thermal performance enhancement of a cooling tower heat sink radiator," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 28, no. July, hal. 101477, 2021, doi: 10.1016/j.csite.2021.101477.

- [6] Z. Yu *et al.*, “Analysis of a novel combined heat exchange strategy applied for cooling towers,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 169, hal. 120910, 2021, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.120910.
- [7] C. Jayaweera, N. Groot, S. Meul, A. Verliefde, I. Nopens, dan I. Hitsov, “Development of a hybrid model for reliably predicting the thermal performance of direct contact countercurrent cooling towers,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 197, hal. 123336, 2022, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2022.123336.
- [8] N. Gilani, A. Doustani Hendijani, dan R. Shirmohammadi, “Developing of a novel water-efficient configuration for shower cooling tower integrated with the liquid desiccant cooling system,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 154, no. February, hal. 180–195, 2019, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2019.03.043.
- [9] W. Wang, J. Lyu, H. Zhang, Q. Liu, G. Yue, dan W. Ni, “A performance enhancement of a natural draft dry cooling tower in crosswind via inlet flow field reconstruction,” *Energy Build.*, vol. 164, hal. 121–130, 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2018.01.003.
- [10] R. Zhao *et al.*, “Study on thermal performance of new finned heat exchange tube bundles in cooling tower,” *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 168, no. April, hal. 107064, 2021, doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2021.107064.
- [11] L. Jiang, Z. Zhang, P. Sang, L. F. Dong, S. He, dan M. Gao, “Influence of noise barrier and louver on ventilation and thermal performance of wet cooling towers under crosswind conditions,” *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 173, no. July 2021, hal. 107364, 2022, doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2021.107364.
- [12] R. Al-Waked dan M. Behnia, “Enhancing performance of wet cooling towers,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 48, no. 10, hal. 2638–2648, 2007, doi: 10.1016/j.enconman.2007.04.018.
- [13] A. Hamid, L. Karim, M. Jamroni, I. Qiram, dan G. Rubiono, “Pengaruh Bentuk Dan Konfigurasi Alur Sekat Terhadap Unjuk Kerja Menara Pendingin (Cooling Tower)” vol. 10, no. November, hal. 1–5, 2017.