

## UJI EFEKTIVITAS *AIR COOLER* DENGAN SUHU FLUIDA DINGIN KONSTAN (*STEADY STATE*)

Muhammad Tafarel Firjatullah<sup>1</sup>, Bambang Yunianto<sup>2</sup>, Muchammad<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: farelfirjatullah4@gmail.com

### Abstrak

Alat penukar kalor (*heat exchanger*) banyak digunakan pada berbagai instalasi industri, antara lain pada: *boiler, kondensor, cooler, cooling tower*. Sedangkan pada kendaraan adalah radiator yang pada dasarnya berfungsi sebagai alat penukar kalor. Tujuan perpindahan kalor di dalam proses industri diantaranya adalah untuk memanaskan atau mendinginkan fluida hingga mencapai kalor tertentu yang dapat memenuhi persyaratan untuk proses selanjutnya. Oleh karena itu, penting dilakukannya penelitian untuk menghasilkan *heat exchanger* yang lebih efisien. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh efektivitas dan efisiensi *air cooler heat exchanger* dengan suhu fluida dingin yang konstan (*steady state*) saat maksimum serta pengaruh variasi kecepatan aliran pompa dan *fan* terhadap kinerjanya. Metode penelitian dilakukan secara eksperimental pada *air cooler heat exchanger* dengan variasi debit air sebesar 0 L/min, 2,5 L/min, 5 L/min dan variasi kecepatan udara sebesar 1,67 m/s, 2,5 m/s, dan 3,34 m/s. Pengamatan dan perbandingan yang dilakukan adalah pengamatan suhu udara yang keluar dari kipas dengan suhu paling minimum hingga mencapai kondisi *steady state*. Hasil uji eksperimental menunjukkan bahwa efektivitas terbaik didapat dengan nilai sebesar 0,608696 dan efisiensi terbaik didapat dengan nilai 96%, hasil terbaik ini diperoleh ketika *air cooler heat exchanger* dioperasikan dengan variasi debit air sebesar 5 L/min dan kecepatan udara 1,8 m/s. Kondisi operasional dengan debit air sebesar 5 L/min dan kecepatan udara 1,8 m/s menjadi kondisi operasional terbaik karena banyaknya jumlah air yang mengalir melalui *heat exchanger* sehingga meningkatkan kapasitas pendinginan dan kecepatan udara yang rendah memberikan waktu kontak yang cukup antara udara dan permukaan *heat exchanger*.

**Kata kunci:** debit air; efisiensi; efektivitas; *heat exchanger*; kecepatan udara

### Abstract

*Heat exchangers are widely used in various industrial installations, including boilers, condensers, coolers, and cooling towers. In vehicles, the radiator essentially functions as a heat exchanger. The purpose of heat transfer in industrial processes includes heating or cooling fluids to achieve specific heat levels that meet the requirements for subsequent processes, making it essential to conduct research to develop more efficient heat exchangers. This study aims to determine the effectiveness of an air cooler heat exchanger with a constant hot water temperature (steady state) at maximum, and the impact of varying pump and fan flow rates on its performance. The research method was experimental, using an air cooler heat exchanger with water flow rates of 0 L/min, 2.5 L/min, and 5 L/min, and air speeds of 1.8 m/s, 2.7 m/s, and 3.6 m/s. Observations included monitoring the air temperature exiting the fan, controlling the time until steady state conditions were achieved. The experimental results showed that the best effectiveness was 0.608696, and the best efficiency was 96%. These optimal results were obtained when the air cooler heat exchanger was operated with a water flow rate of 5 L/min and an air speed of 1.8 m/s. This operational condition is considered the best because the high water flow rate increases the cooling capacity, and the low air speed provides sufficient contact time between the air and the heat exchanger surface.*

**Keywords:** air velocity; efficiency; effectiveness; *heat exchanger*; water flow rate

### 1. Pendahuluan

Alat penukar kalor (*heat exchanger*) banyak digunakan pada berbagai instalasi industri, antara lain pada: *boiler, kondensor, cooler, cooling tower* [1]. Sedangkan pada kendaraan adalah radiator yang pada dasarnya berfungsi sebagai alat penukar kalor. Tujuan perpindahan kalor di dalam proses industri diantaranya adalah untuk memanaskan atau mendinginkan fluida hingga mencapai kalor tertentu yang dapat memenuhi persyaratan untuk proses selanjutnya dan untuk mengubah keadaan (fase) fluida: destilasi, evaporasi, kondensasi, dan lain-lain [2].

Jenis-jenis heat exchanger yang umum digunakan meliputi *shell and tube heat exchanger*, *heat exchanger plate*, dan *heat exchanger finned* [3]. *Heat exchanger finned* memiliki keunggulan efisiensi transfer panas tinggi dan desain yang kompak, namun rentan terhadap kerusakan *fin* yang dapat mempengaruhi kinerja [4]. *Heat exchanger plate* memiliki keunggulan ukuran yang kecil dan pemeliharaan yang mudah, namun rentan terhadap korosi dan tidak cocok untuk aplikasi tekanan tinggi [5]. Sedangkan *heat exchanger shell and tube* memiliki kemampuan menangani tekanan tinggi dan perbedaan suhu yang besar, namun biaya pembuatan dan instalasinya cenderung tinggi [6]. Tujuan penelitian adalah untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja *heat exchanger* dengan memperhatikan faktor-faktor tersebut, serta mengembangkan solusi yang lebih efektif dan ekonomis.[7].

Berdasarkan jenis alirannya heat exchanger memiliki tiga jenis aliran yang digunakan untuk aplikasi heat exchanger dengan tipe konstruksi yang berbeda yaitu *parallel flow*, *counter flow* dan *cross flow*, dimana *parallel flow* memiliki arah aliran yang searah pada kedua aliran fluida, *counter flow* memiliki arah aliran yang berlawanan, sedangkan *cross flow* memiliki arah aliran silang antar dua aliran fluida [7].

ACHE (*Air Cooler Heat Exchanger*) terdiri dari satu atau lebih kelompok tube ber-fin(yang juga disebut sebagai *tube bundle*) dengan udara ditiupkan oleh satu atau lebih kipas. Kipas bisa lebih dari satu buah untuk menghembuskan udara untuk bertukar panas dengan pipa atau *tubes* pada *bundle* yang di dalamnya mengalir fluida bersuhu lebih tinggi [8]. Pada pembahasan kali ini khusus membahas tentang penyejuk ruangan (*air cooler*) yang hemat energi dan juga hanya memerlukan sedikit tempat untuk penempatannya. Tugas utama *air cooler* bukan untuk mendinginkan ruangan melainkan digunakan hanya untuk menyejukan ruangan[9].

Teknologi di bidang pendingin pada saat ini semakin banyak dimanfaatkan untuk meningkatnya taraf hidup. Penggunaan yang umum adalah untuk mengawetkan makanan dan juga sebagai penyejuk ruangan. Pendingin ruangan atau air cooler yang beredar dipasaran memiliki harga kisaran dari 1,3 juta sampai 1,7 juta rupiah dengan konsumsi daya listrik yang diperlukan adalah 220-240 V 100 W dengan dimensi 360 x 300 x 760 mm. *Air cooler* yang beredar dipasaran memiliki ukuran dimensi yang cukup besar sehingga alat penyejuk ruangan ini tidak bisa *portable* dan daya listrik yang diperlukan untuk menghidupkan *air cooler* yang beredar dipasaran juga terlalu besar [9].

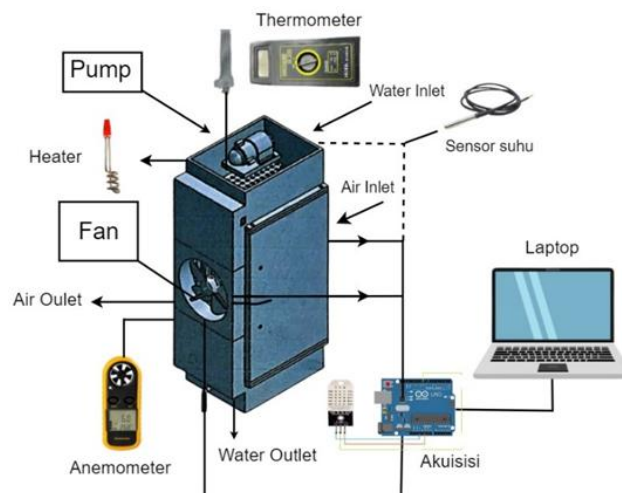
Alat bantu pendingin ruangan yang umum digunakan masyarakat kini menggunakan zat kurang ramah lingkungan karena dapat merusak lapisan ozon serta mahalnya biaya operasional dan perawatan. Dampak kerusakan lingkungan serta menekan biaya operasional dan perawatan dapat diminimalisir dengan sebuah alat pendingin baru yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis [10]. *Air cooler* menggunakan bahan pendingin air yang dimana uap dingin yang dihasilkan akan disebarkan menggunakan *fan* sehingga menghasilkan udara yang sejuk, Sedangkan penggunaan kipas angin jika didalam ruangan bersuhu panas maka suhu panaslah yang akan di semburkan oleh *fan*. Maka dari itu *air cooler* sebagai penyejuk ruangan sangat efektif dalam menyejukan ruangan, menghemat daya listrik, sangat ramah lingkungan, dan juga tidak menghabiskan banyak tempat [9].

Penelitian ini juga relevan dengan keberlanjutan alat *heat exchanger*, di mana optimasi penggunaan energi dan sumber daya menjadi fokus utama. Dengan mengidentifikasi parameter yang optimal dalam pengendalian temperatur fluida dingin pada sistem *air cooler heat exchanger*, penelitian ini diharapkan dapat memberikan pandangan baru, yang dapat diimplementasikan untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi sistem pendinginan. Selain itu, pemahaman yang lebih baik tentang dinamika ini juga akan mendukung inovasi teknologi dalam upaya menciptakan solusi yang lebih efisien dan berkelanjutan untuk kebutuhan pengendalian suhu di berbagai sektor industri.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 *Experimental Setup*

Konfigurasi eksperimen *heat exchanger* dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1. Konfigurasi Eksperimen

Keterangan Gambar 1:

- |                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| 1. <i>Pump</i>          | 9. <i>Pipa inlet</i>    |
| 2. <i>Heater</i>        | 10. <i>Water outlet</i> |
| 3. <i>Fan</i>           | 11. <i>Water inlet</i>  |
| 4. <i>Termometer</i>    |                         |
| 5. <i>Sensor suhu</i>   |                         |
| 6. <i>Data akuisisi</i> |                         |
| 7. <i>Laptop</i>        |                         |
| 8. <i>Anemometer</i>    |                         |

Persiapan eksperimen dilakukan dengan cara mendinginkan air menggunakan es batu setiap 10 menit dengan total berat es batu 13 kg. Untuk mencapai tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini, peneliti akan menggunakan metode penelitian eksperimental yaitu metode yang digunakan untuk menguji pengaruh dari suatu perlakuan atau kondisi dengan cara membandingkan satu atau lebih kelompok dengan perlakuan baru dengan satu atau lebih kelompok lain tanpa perlakuan sebagai pembanding. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan menahan temperatur fluida dingin saat mencapai *steady state* yang digunakan untuk aliran udara dengan *cool water*. Jenis pengamatan dan perbandingan yang akan dilakukan adalah pengamatan suhu udara yang keluar dari kipas setiap waktu selama 40 menit saat temperatur *steady state* dan melakukan perbandingan setiap variasi pompa dan *fan*.

Kegiatan persiapan yang dilakukan sebelum melakukan penelitian berupa eksperimen dimaksudkan untuk memperoleh data terukur yang lebih akurat dan presisi. Persiapan- persiapan tersebut mencakup beberapa pemeriksaan dan pemanasan alat serta pembersihan alat dan bahan yang digunakan untuk melakukan eksperimen, seperti:

1. Melakukan pengecekan kondisi alat *air cooler heat exchanger* secara umum, memastikan kondisi kipas penghembus udara berfungsi dengan baik, memastikan udara keluar dari kipas, dan memastikan pompa berfungsi dengan baik serta mengecek sensor dht dht-22 dan Sensor DS18B20.
2. Memastikan es batu dapat mendinginkan air secara baik dengan mengetahui keadaan air menjadi dingin menggunakan *microprocessor thermistor thermometer*.
3. Memastikan *microprocessor thermistor thermometer* berfungsi secara baik dengan mengukur suhu air. pengujian seperti pada Gambar 2 berikut..



Gambar 2. Pengujian suhu air masuk dengan alat *thermistor thermometer*

4. Melakukan pengecekan sambungan listrik untuk kipas dan pompa, memastikan *anemometer digital display* berfungsi secara baik dengan mengukur suhu udara. Pengujian seperti pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Pengujian suhu udara keluar dengan alat *anemometer digital display*

## 2.2 Perhitungan Data

### 2.2.1 Perhitungan Panas Aktual

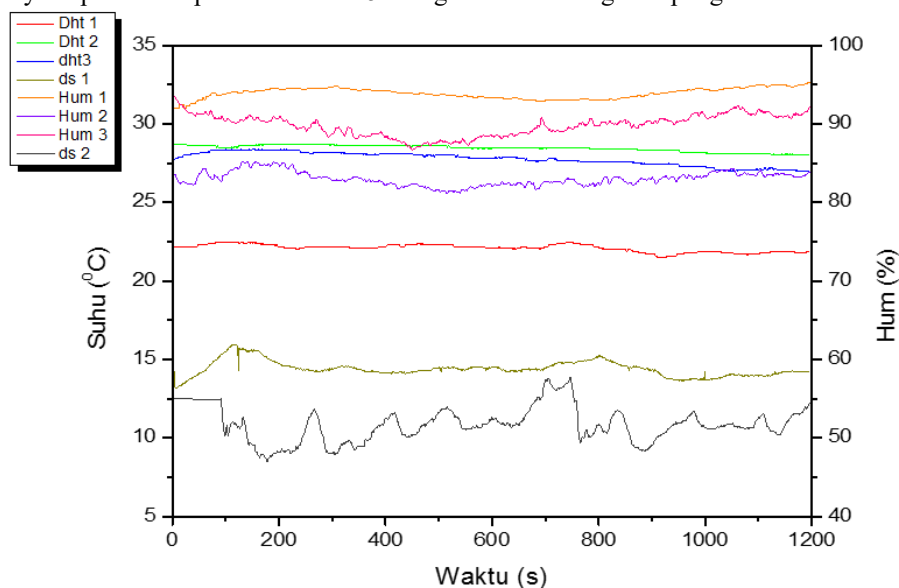
$$\dot{m} = \rho \times A \times V \dots\dots\dots (1)$$

$$\begin{aligned}
 Q &= m \cdot c \cdot \Delta T \dots\dots\dots (2) \\
 Ch &= mh \cdot Cph \dots\dots\dots (3) \\
 Q_{act} &= Ch (Th_1 - Th_2) \dots\dots\dots (4) \\
 2.2.2 \quad &\text{Perhitungan Panas Maksimal} \\
 Q_{max} &= C \min (Th_1 - Tc_1) \dots\dots\dots (5) \\
 2.2.3 \quad &\text{Perhitungan Efektivitas dan Efisiensi} \\
 \varepsilon &= \frac{Q_{act}}{Q_{max}} \dots\dots\dots (6) \\
 \eta &= \frac{Q_{act}}{p} \dots\dots\dots (7)
 \end{aligned}$$

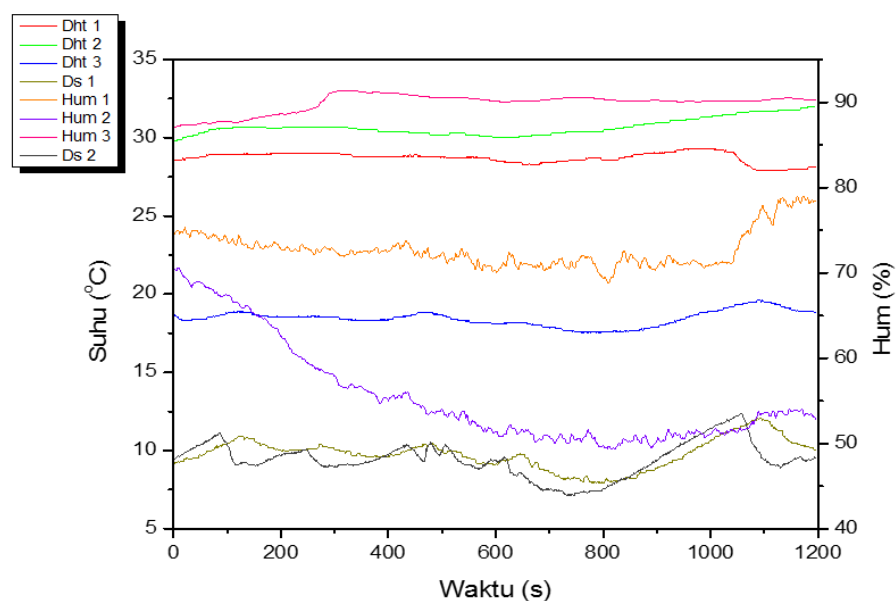
### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Hasil pengambilan data suhu air dan udara

Setelah melakukan penelitian berupa pengujian *air cooler* dengan beberapa variasi menggunakan bahan es batu telah selesai dilakukan, didapatkan data hasil penelitian *air cooler heat exchanger* tersebut meliputi suhu air, suhu udara dan perhitungan efektivitas dan efisiensi *air cooler*. Data akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Data eksperimen pada setiap variasinya dapat dilihat pada Gambar 4-5 sebagai contoh dari grafik pengambilan data.



**Gambar 4.** Grafik Data Hubungan Suhu Rh Terhadap Waktu Pada Debit Aliran Pompa 1 Liter/ 12 Detik dan Kecepatan Udara 3,37 m/s



**Gambar 5.** Grafik Data Hubungan Suhu Rh Terhadap Waktu Pada Debit Aliran Pompa 1 Liter/ 12 Detik dan Kecepatan Udara 2,5 m/s.

### 3.2 Hasil perhitungan efektivitas

Dari eksperimen yang telah dilakukan, data hasil perhitungan efektivitas pada heat exchanger dapat dilihat pada tabel 1 di bawah ini.

**Tabel 1.** Hasil perhitungan data pengujian untuk mendapatkan hasil efektivitas

Laju massa (kg/s)		Thi	Tci	Tho	Tco	p	m	Q	Cph	Ch	Qmax	E
Air	Udara											
100%	100	28,3	10,53	21,9	14,3	1,197868	0,129228	831,1971	1005	129,8745	2307,871	0,360158
	75	30,8	9,3	18,3	9,53	1,212664	0,130825	1643,484	1005	131,4788	2826,793	0,581395
	50	32,9	9,9	18,9	11,36	1,210173	0,130556	1836,921	1005	131,2086	3017,799	0,608696
50%	100	30,3	11,5	21	12,8	1,201533	0,129624	1211,529	1005	130,2719	2449,112	0,494681
	75	30,4	11,2	19,7	12,5	1,206867	0,130199	1400,097	1005	130,8502	2512,324	0,557292
	50	29,4	10,1	17,7	10,56	1,215166	0,131095	1541,475	1005	131,75	2542,775	0,606218
0%	100	28,7	11,64	20,4	10,9	1,203989	0,129889	1083,467	1005	130,5382	2226,981	0,486518
	75	31,7	11,9	21,3	11,7	1,200309	0,129492	1353,448	1005	130,1392	2576,756	0,525253
	50	28,1	9,8	19,5	9,39	1,207692	0,130288	1126,081	1005	130,9396	2396,195	0,469945

Berdasarkan data yang diperoleh dari tabel hasil perhitungan efektivitas, bahwa, pada kondisi debit air nol efektivitas pendinginan masih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa tanpa energi listrik dari pompa, efektivitas *heat exchanger* (HE) dan temperatur yang keluar dari kipas (*fan*) masih cukup tinggi. Dengan kata lain, untuk mencapai pendinginan hingga sekitar +/- 20°C, hanya cukup diperlukan input listrik untuk kipas (*fan*), tanpa memerlukan energi tambahan dari pompa.

### 3.3 Hasil perhitungan efisiensi

Perhitungan efisiensi dilakukan dengan kebutuhan mengetahui dari laju perpindahan panas aktual dengan daya terhadap pompa, kipas, dan alat *heater* pada alat *heat exchanger water cooler*. Berikut merupakan hasil dari perhitungan efisiensi terhadap termal ( $\eta$ ). Hasil perhitungan efisiensi pada setiap variasinya dapat dilihat pada tabel 2 sebagai berikut.

**Tabel 2.** Hasil perhitungan efisiensi setiap variasi

Laju Aliran (kg/s)		Q <sub>act</sub> (watt)	Daya (watt)	Efisiensi (%)
Air	Udara			
100%	100	831,2	1.906,17	43
	75	1.643,5	1.899,98	86
	50	1.836,921	1.893,71	96
50%	100	1.211,529	1.870,17	64
	75	1.400,097	1.870,17	75
	50	1.541,475	1.857,71	83
0%	100	1.083,467	1.834,17	59
	75	1.353,448	1.827,98	74
	50	1.126,081	1.821,71	62

## 4. Kesimpulan

Uji efektivitas *air cooler* dengan suhu fluida dingin konstan menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Efektivitas *heat exchanger air cooler* terbaik didapat dengan nilai sebesar 0,608696, nilai ini diperoleh ketika dioperasikan dengan variasi debit air sebesar 5L/min dan kecepatan udara 1,67 m/s dan untuk efisiensi *heat exchanger air cooler* terbaik didapat dengan nilai sebesar 96%, nilai ini diperoleh ketika dioperasikan dengan variasi debit air sebesar 5L/min dan kecepatan udara 1,67 m/s.
2. Kondisi operasional dengan debit air sebesar 5L/min dan kecepatan udara 1,67 m/s menjadi kondisi operasional terbaik karena banyaknya jumlah air yang mengalir melalui *heat exchanger* sehingga meningkatkan kapasitas pendinginan dan kecepatan udara yang rendah memberikan waktu kontak yang cukup antara udara dan permukaan *heat exchanger*.



## 5. Daftar Pustaka

- [1] W. Roetzel, X. Luo, and D. Chen, "Chapter 1 - Heat exchangers and their networks: A state-of-the-art survey," W. Roetzel, X. Luo, and D. B. T.-D. and O. of H. E. and their N. Chen, Eds. Academic Press, 2020, pp. 1–12.
- [2] R. R. Amrozi, S. Udjiana, and Y. Yuliman, "Evaluasi Kinerja Heat Exchanger Pada Gas Cooler Unit Co2 Liquid Plant," *DISTILAT J. Teknol. Separasi*, vol. 8, no. 1, pp. 111–117, 2023, doi: 10.33795/distilat.v8i1.299.
- [3] H. M. Maghrabie *et al.*, "Intensification of heat exchanger performance utilizing nanofluids," *Int. J. Thermofluids*, vol. 10, 2021, doi: 10.1016/j.ijft.2021.100071.
- [4] P. Blečić, A. Trp, and K. Lenić, "Thermal performance analysis of fin-and-tube heat exchangers operating with airflow nonuniformity," *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 164, no. January, 2021, doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2021.106887.
- [5] D. Zheng, J. Yang, J. Wang, S. Kabelac, and B. Sundén, "Analyses of thermal performance and pressure drop in a plate heat exchanger filled with ferrofluids under a magnetic field," *Fuel*, vol. 293, no. November 2020, pp. 1–9, 2021, doi: 10.1016/j.fuel.2021.120432.
- [6] S. Kallannavar, S. Mashyal, and M. Rajangale, "Effect of tube layout on the performance of shell and tube heat Exchangers," *Mater. Today Proc.*, vol. 27, pp. 263–267, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2019.10.151.
- [7] D. Irawan, M. Wibowo, and Z. Anggara, "Pengaruh Jumlah Tube dan Baffles Terhadap Efektivitas Shell and Tube Heat Exchanger," *Semin. Nas. Penelit. dan Pengabd. Kpd. Masy. Univ. Muhammadiyah Metro Indones.*, vol. 2, pp. 254–264, 2020.
- [8] M. Ikhsan Kamil and D. Agustina Sari, "Komparasi Desain Alat Penukar Panas Tipe Air-Cooled," *J. Teknol.*, vol. 16, no. 2, pp. 180–186, 2023, doi: 10.34151/jurtek.v16i2.4512.
- [9] K. B. Rohito, K. R. Dantes, and I. N. P. Nugraha, "Rancang Bangun Air Cooler Dengan Menggunakan Modul Termoelektrik Peltier Type Tec-12706," *J. Pendidik. Tek. Mesin Undiksha*, vol. 7, no. 3, pp. 122–128, 2019, doi: 10.23887/jptm.v7i3.26516.
- [10] Z. Fakhri, A. Daelami, Bayudin, and A. Charisma, "Sistem Pengaturan Pendingin Ruangan dengan Menggunakan Thermoelectric dan Blower Motor Direct Current," *J. Tek. Media Pengemb. Ilmu dan Apl. Tek.*, vol. 21, no. 1, pp. 84–94, 2022, doi: 10.55893/jt.vol21no1.430.