

Experimental Study of Air-Water Heat Exchanger as a Passive Coolant in Air Vents

Studi Eksperimen Alat Pemindah Panas Udara-Air Sebagai Pendingin Pasif Pada Ventilasi Udara

Rafi Rahmat Ichsan^{1*}, Remon Lapisa^{1,2}, Primawati¹, Budi Syahri¹

Abstract

Indonesia, a tropical climate country, has experienced a notable increase in temperatures during the dry season due to global warming, leading to decreased thermal comfort. This experimental study aims to investigate and analyze the performance of an air-water heat exchanger serving as a passive cooler in tropical ventilation systems. Before being introduced into the room, the hot outdoor air is passively cooled by colder water. Air, propelled by an inline duct fan at a constant speed of 9.6 meters per second, passes through a PVC hose integrated into a tube filled with water measuring 100 cm in diameter and 110 cm in height, which serves as the main heat exchanger. Measurement results indicate that the designed air-water heat exchanger provides a significant passive cooling effect, reducing air temperature by up to 6.83°C. By harnessing passive cooling, the cooling capacity achieved during the measurement period in the ventilation system ranges from 3.08 kJ to 7.67 kJ.

Keywords

Air-Water Heat Exchanger, Passive Cooling, Ventilation System, Cooling Energy Gain.

Abstrak

Indonesia, yang memiliki iklim tropis, mengalami kenaikan suhu yang cukup besar selama musim kemarau akibat pemanasan global, sehingga mengurangi kenyamanan termal. Penelitian eksperimental ini bertujuan untuk menguji dan menganalisis kinerja alat penukar panas udara-air yang berfungsi sebagai pendingin pasif dalam sistem ventilasi di daerah tropis. Sebelum masuk ke dalam ruangan, udara panas dari luar didinginkan secara pasif oleh air yang lebih dingin. Udara yang didorong oleh kipas saluran udara dengan kecepatan tetap sebesar 9,6 meter per detik melewati selang PVC yang terhubung dengan tabung berisi air berdiameter 100 cm dan tinggi 110 cm, yang berperan sebagai penukar panas utama. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa penukar panas udara-air yang dirancang memberikan efek pendinginan pasif yang signifikan, mengurangi suhu udara hingga 6,83 °C. Dengan memanfaatkan pendinginan pasif, kapasitas pendinginan yang dicapai selama periode pengukuran dalam sistem ventilasi berkisar antara 3,08 kJ hingga 7,67 kJ.

Kata Kunci

Penukar Panas Udara-Air, Pendinginan Pasif, Sistem Ventilasi, Perolehan Energi Pendinginan.

¹ Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

Jl. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Padang, Sumatera Barat

² Centre for Energy and Power Electronics Research, Universitas Negeri Padang

Jl. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Padang, Sumatera Barat

* rafirahich2471@gmail.com

Submitted : August 27, 2023. Accepted : October 27, 2023. Published : October 29, 2023

PENDAHULUAN

Letak geografis Indonesia menyebabkan wilayah Indonesia beriklim tropis, dimana hanya terdapat dua musim yaitu musim hujan dan musim kemarau. Dalam kurun waktu lima tahun terakhir masalah pemanasan global di Indonesia masih mengalami peningkatan meskipun pada tahun 2021 frekuensinya sempat lebih rendah [1]. *Global warming* merupakan fenomena peningkatan suhu rata-rata pada permukaan bumi, dalam jangka waktu 100 tahun terakhir, dimana suhu bumi meningkat cepat dengan peningkatan rata-rata 0,6 – 0,9 derajat sehingga suhu bumi terasa semakin panas. Akibat pemanasan global tersebut di daerah beriklim tropis terjadi peningkatan suhu yang cukup tinggi pada musim kemarau [2]. Suhu yang cukup tinggi tersebut mengakibatkan menurunnya kualitas dan mobilitas pekerjaan manusia yang beraktfitas di dalam suatu bangunan dikarenakan tidak tercapainya kenyamanan termal [3]. Suhu ruang semakin meningkat pada perkotaan juga karena lahan rumah yang sempit sehingga penyediaan ruang hijau privat tidak dimungkinkan, hal ini mengakibatkan alat pengkondisian udara menjadi pilihan utama. Alat pengkondisian udara yang banyak digunakan pada bangunan biasanya AC konvensional, namun dapat menyebabkan meningkatnya tagihan listrik pemiliknya, dan secara tidak langsung penggunaan alat tersebut dalam jangka waktu lama dapat berakibat buruk terhadap lingkungan. Kebocoran atau hal lain dari penggunaan AC konvensional yang kurang terawat inilah yang dapat berakibat buruk terhadap lingkungan karena dapat memicu efek rumah kaca, dimana terjadi akibat perubahan kondisi dari komposisi serta keadaan atmosfer [4]

Salah satu solusi yang dapat dilakukan yaitu dengan memanfaatkan prinsip pendinginan pasif udara-air, Suhu air pada lingkungan biasanya lebih dingin dibandingkan suhu udara pada lingkungan tersebut [5]. Air juga dapat melepas panas dengan baik di saat malam hari atau ketika suhu udara sekitar turun, lama pelepasan suhu pada air juga tergantung pada banyaknya kapasitas air yang digunakan pada eksperimen karena semakin banyak air yang digunakan maka semakin lama pula air tersebut dapat mengabsorpsi suhu panas dan mempertahankan suhunya [6]. Air memiliki kapasitas kalor yang lebih besar ($4,18 \text{ kJ} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) dari pada udara ($1,005 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) [7],[8] Dengan kapasitas panas yang tinggi, air dapat mempertahankan suhu awalnya lebih lama ketika terjadi perubahan panas dari lingkungan. Di tempat dengan perolehan panas yang tinggi (radiasi matahari, radiasi termal, sistem penerangan, perolehan panas lainnya), suhu udara luar akan lebih tinggi daripada suhu air di atmosfer. Hal ini terjadi karena respon yang lebih cepat terhadap perubahan suhu yang dilakukan oleh udara akibat gangguan panas lingkungan dibandingkan dengan air. Selain itu, fluktuasi suhu udara luar antara siang dan malam tampak lebih besar daripada air [9]. Studi lain menegaskan bahwa karena inersia termal yang tinggi, suhu air pada siang hari lebih rendah dari suhu udara. Sebaliknya, suhu air pada malam hari mungkin bisa lebih tinggi dari udara di atasnya [10],[11]. Hal tersebut merupakan potensi yang cukup baik untuk digunakan sebagai eksperimen pembuatan alat alternatif pendinginan pasif pada udara, alat yang menggunakan air sebagai mekanisme pendingin pasif yaitu alat penukar panas udara-air.

Alat pemindah panas udara-air ini memiliki beberapa keunggulan dalam penggunaannya dari AC dan kipas angin konvensional yang diantaranya dari penggunaan listrik yang lebih rendah dan sirkulasi udara yang lebih baik karena udara yang digunakan langsung dialirkan dari udara luar, sehingga ketika di aplikasikan pada ruangan di suatu bangunan akan terjadi pertukaran dari udara yang masuk menuju alat dan udara yang keluar dari ventilasi bangunan secara alami, karena kenyamanan termal berhubungan langsung dengan sistem pengkondisian udara dan sistem ventilasi [12].

Untuk wilayah Indonesia kenyamanan termal sangat bergantung dengan cuaca dan suhu lingkungan daerah masing-masing, serta faktor-faktor yang berpotensi mengganggu kenyamanan termal sudah dijelaskan menurut standar yang telah ditetapkan SNI 03-6572-

2001, untuk kebanyakan daerah di Indonesia kenyamanan termal yang baik dan terkondisikan ada tiga kategori seperti ditunjukkan pada Tabel 1 [13].

Table 1. Kenyamanan Termal Berdasarkan SNI 03-6572-2001

No	Kategori Kenyamanan Termal	Temperatur Efektif
1	Sejuk Nyaman	20,5°C - 22,8°C
2	Nyaman Optimal	22,5°C - 25,8°C
3	Hangat Nyaman	25,8°C - 27,1°C

Berdasarkan hasil dari pembaharuan zona musim Provinsi Sumatera Barat dengan menggunakan data periode 30 tahun terakhir (1991-2020), disimpulkan secara klimatologis wilayah Sumatera Barat terbagi menjadi 11 Zona Musim (ZOM) yang dimana sebagian besar daerah di Sumatera barat termasuk ke dalam zona musim tipe Ekuatorial-2 yaitu mempunyai dua musim sepanjang tahunnya [14]. Untuk mencapai kenyamanan termal dari kondisi iklim yang sedang terjadi serta pemanfaatan penukar panas dari air dan sistem ventilasi, maka penggunaan alat penukar panas udara-air dapat menjadi solusi yang baik.

Penelitian eksperimental alat pemindah panas udara-air ini bertujuan untuk mengetahui perubahan suhu yang didapatkan dari udara menggunakan alat yang menggunakan air sebagai pemindah panas atau media pendingin, diharapkan alat dapat menjadi alternatif sebagai alat sirkulasi udara dan penurunan suhu yang dapat dieperasikan pada ruangan. Penelitian eksperimental alat pemindah panas udara-air berlokasi di kampus Universitas Negeri Padang, tepatnya *workshop* Teknik Mesin Universitas Negeri Padang, suhu tahunan pada Badan Pusat Statistik Kota Padang pada 2019-2021 mencatat bahwa suhu maksimum di kota padang dapat mencapai 35,90, hal ini disebabkan juga karena kota padang terletak pada daerah pesisir [15].

Untuk mendapatkan kecepatan udara dari data yang diambil pada anemo meter maka terlebih dahulu digunakan Persamaan 1 yang merupakan rumus mengukur luas penampang pipa yang menjadi tempat udara masuk melalui inlet yang di tiupkan dari blower.

Luas penampang pipa :

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \quad (1)$$

Setelah didapatkan luas penampang pipa maka dapat dilakukan perhitungan kecepatan aliran udara menggunakan rumus pada Persamaan 2.

$$V = \frac{Q}{A} \quad (2)$$

Nilai evektivitas penukar panas didapatkan untuk menjadi acuan dalam menganalisis masalah yang perlu untuk membandingkan berbagai jenis alat penukar panas agar mendapatkan pilihan yang terbaik. Persamaan 3 merupakan rumus untuk mendapatkan nilai evektifitas dari alat penukar panas secara eksperimen [16].

$$\varepsilon = \frac{T_{masuk} - T_{keluar}}{T_{masuk} - T_{air}} \quad (3)$$

Dalam analisis eksperimen alat pemindah panas digunakan Persamaan 4 sebagai rumus untuk menghitung kapasitas pendinginan dari alat yang diuji.

$$Q = m \cdot c (T_{in} - T_{out}) \quad (4)$$

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian yang bersifat kuantitatif dan Jenis dari cara mendapatkan data yang digunakan adalah data primer, dimana data tersebut didapatkan langsung dari alat penukar panas udara-air dengan menggunakan alat ukur *thermocouple* dan sensor-sensor lain seperti *Humidity*, *Light* dan *Anemo* sensor. Metode yang digunakan dalam penelitian ini merupakan metode observasi yaitu pengumpulan data primer dengan melakukan pengamatan terhadap aktivitas dan kejadian yang terjadi pada alat penukar panas saat beroperasi melalui sensor-sensor yang telah terpasang.

Penelitian ini bersifat eksperimental (*experimental research*) yaitu melakukan pengujian langsung terhadap alat uji agar memperoleh data-data yang diinginkan untuk menjawab/menyelesaikan permasalahan. Penulisan dan eksperimen ini diharapkan untuk menghasilkan perbedaan suhu yang terjadi pada udara yang telah melalui sistem penukar panas Udara-air heat dan udara lingkungan sekitar, dan udara yang telah melewati sistem jadi lebih dingin. Udara yang digerakkan oleh *Inline Duct Fan* dengan laju aliran massa konstan 4,68 meter kubik per menit dialirkan melalui selang PVC sebagai heat exchanger yang dimasukkan ke dalam penampung air penuh dengan diameter 100 cm dan tinggi 110 cm. Selang penukar panas dengan diameter 6,35 cm dan panjang 4130 cm dipasang secara spiral-melingkar dengan total 16 gulungan dengan diameter 80 cm untuk meningkatkan efektivitas perpindahan panas antara air dan udara. Efektivitas pendinginan pasif dianalisa dengan menurunkan temperatur udara antara inlet dan outlet ventilator setelah melewati heat exchanger.

Data diambil mulai dari jam 05.00 WIB sampai jam 17.00 WIB. Data didapatkan dengan bantuan software yang sudah terhubung dengan alat ukur. Saat data didapatkan maka data akan di save dan dilakukan analisis data, perhitungan dan perbandingan. Lalu akan dibuat grafik sesuai hasil analisis yang telah didapatkan.

Blower

Blower yang digunakan dalam penelitian adalah *blower* berjenis *inline duct ventilator fan* dengan diameter keluaran udara 4 inchi seperti yang ditunjukkan pada [Gambar 1](#), yang nantinya akan disambung dengan operan pipa ke 2 inchi, blower dalam penelitian ini berfungsi untuk mengalirkan udara dari lingkungan ke dalam alat penukar panas.



[Gambar 1](#). Blower

Untuk mengetahui spesifikasi yang lebih rinci dari blower yang digunakan pada pengujian alat pemindah panas udara-air yang dilakukan dapat dilihat pada [Tabel 2](#).

Tabel 2. Spesifikasi Blower

No	Spesifikasi	Nilai
1	Jenis	<i>Inline Duct Fan</i>
2	<i>Air Volume</i>	220 CMH
3	Kecepatan Putaran	2600 Rpm
4	Arus	220 V
5	Tekanan	200 PA
6	Frekuensi	50 Hz
7	Daya	35 WATT

Pembuatan Alat Penukar Panas Udara-Air

Alat penukar panas udara-air dibuat di Workshop Universitas Negeri Padang dan memiliki beberapa bagian utama yang dibuat langsung maupun yang tidak, untuk bagian utama dari alat dapat dilihat pada [Table 3](#).

Tabel 3. Bagian Utama Alat Pemindah Panas

No	Nama Bagian	Jenis Material	Ukuran
1	Tabung Penampung Air	Besi Plat	Tinggi 120 cm, Diameter 100 cm, Tebal Plat 2 mm
2	Penyangga Selang	Besi Beton	Diameter 10mm
3	Selang plastik	PVC	Diameter 2 <i>inchi</i> , Panjang 4000 cm
4	Pipa Paralon	PVC	Diameter 2 <i>inchi</i>

Alat yang dibuat langsung di workshop yaitu tabung penampung air, untuk membentuk tabung silinder digunakan alat rolling dan kemudian disatukan atau disambung menggunakan alat las dan diuji untuk memastikan agar tidak ada kebocoran seperti yang ditunjukkan [Gambar 2 a](#)). Selain tabung penampung air semua sensor juga dipasang terlebih dahulu pada pipa dan komponen lain yang nantinya akan di sambungkan pada alat pemindah panas seperti yang terlihat pada [Gambar 2 b](#)).



a

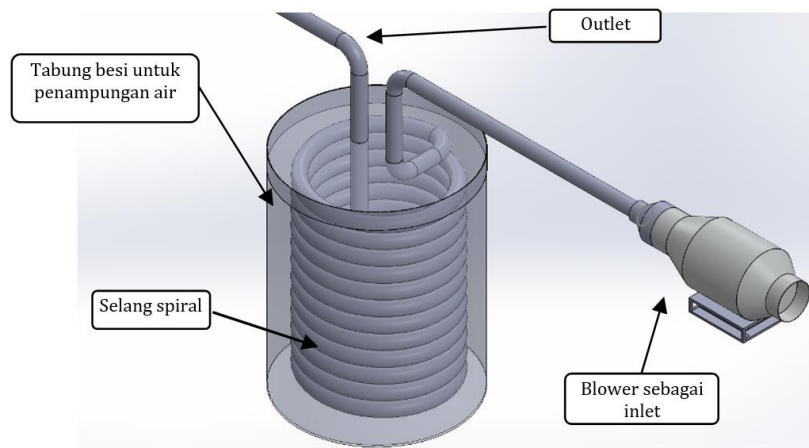


b

Gambar 2. a. Pembuatan Alat, b. Pemasangan Sensor

Sebelumnya untuk merancang dan mengetahui skenario awal dari alat eksperimen pemindah panas udara-air maka dibuatlah desain alat penukar panas dengan menggunakan

3D model pada aplikasi *Solidworks* dan hasil desainnya seperti yang ditunjukkan pada [Gambar 3](#).



Gambar 3. Desain Alat Penukar Panas Udara-Air

Setelah semua ukuran pada 3D model sudah dirasa cukup maka komponen-komponen yang berdasarkan desain tadi mulai dibuat dan dikerjakan pada workshop teknik mesin dan diuji hingga didapatkan alat eksperimen yang siap digunakan dalam pengujian seperti yang ditunjukkan pada [Gambar 4](#).

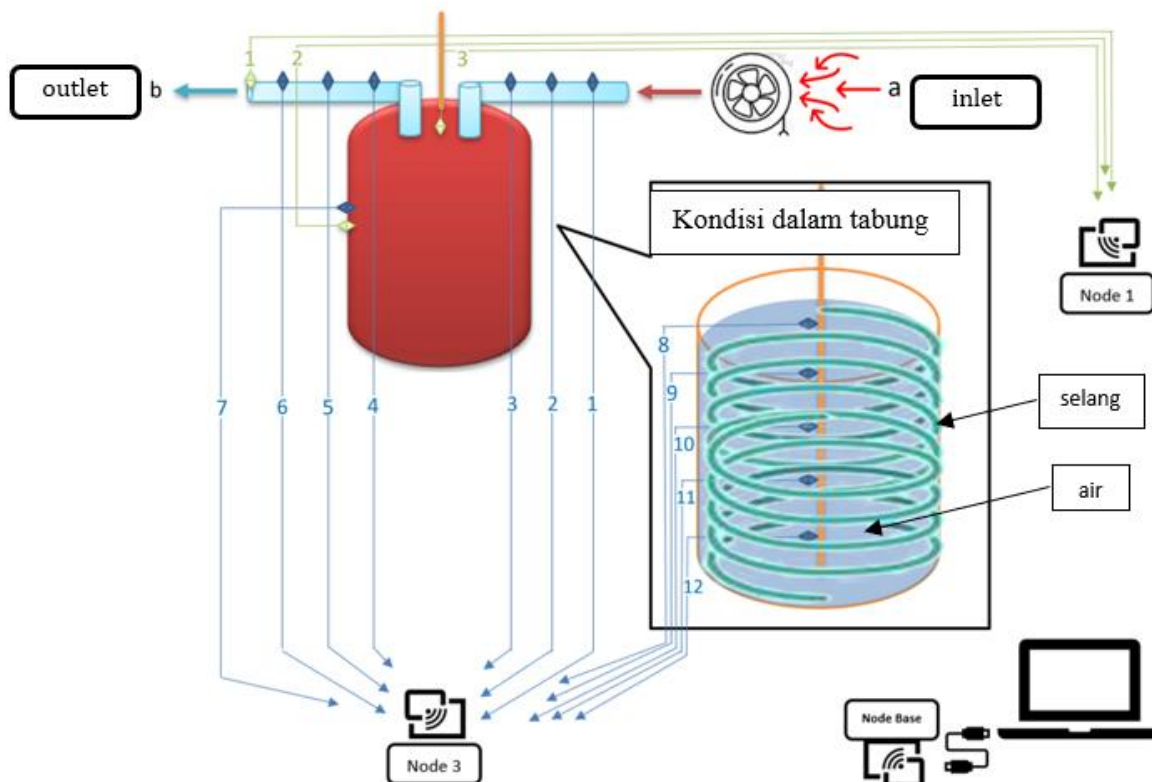


Gambar 4. Alat Penukar Panas Udara-Air

Skema Uji Eksperimental

Untuk dapat memberikan penjelasan tambahan mengenai peletakan sensor yang digunakan pada pengujian alat eksperimen dan penghubungnya hingga dapat terbaca pada laptop dapat dilihat skema uji eksperimental seperti yang ditunjukkan pada [Gambar 5](#).

Pada [Gambar 5](#) terlihat di bagian panah yang diberi nomor merupakan tempat peletakan sensor-sensor yang telah ditentukan pada alat penukar panas dan huruf a merupakan udara dari lingkungan yang di alirkan oleh blower menuju alat penukar panas yang nantinya akan keluar di bagian b setelah melewati selang udara spiral yang berada di dalam tabung besi berisi air tersebut, untuk data sensor dibaca oleh dua node yaitu node 1 dan node 3, dimana node 1 terdiri atas (light sensor, humidity sensor dan sensor temperature) sedangkan pada node 3 semua sensor merupakan sensor temperatur. Berikut adalah rincian pembagian sensor yang dipasang berdasarkan [Gambar 5](#).



Gambar 5. Skema Uji Eksperimental

Node 1

1. Sensor cahaya (*light intensity*), digunakan sebagai sensor tambahan untuk mengetahui intensitas cahaya atau sinar matahari yang terpapar pada alat.
2. Sensor kelembaban (*humidity*), digunakan untuk mengetahui tingkat kelembaban udara yang keluar dari alat penukar panas.
3. Sensor temperatur, dipasang pada luar alat untuk mengetahui suhu lingkungan.

Node 3

1. Sensor temperatur (*thermocouple*), dipasang pada alat sebagai pengukur suhu udara saat sebelum masuk ke alat penukar panas dengan jarak yang paling dekat dengan blower.
2. Sensor temperatur (*thermocouple*), dipasang pada alat sebagai pengukur suhu udara saat sebelum masuk ke alat penukar panas yang kali ini diberi jarak 15 cm dari sensor yang paling dekat dengan blower bertujuan untuk mengetahui apakah ada perbedaan suhu.
3. Sensor temperatur (*thermocouple*), dipasang pada alat sebagai pengukur suhu udara saat sebelum masuk ke alat penukar panas, fungsinya sama dengan nomor dua.
4. Sensor temperatur (*thermocouple*), dipasang pada alat sebagai pengukur suhu udara saat setelah melewati alat penukar panas dengan jarak yang paling dekat terhadap keluarnya udara dari alat tersebut.
5. Sensor temperatur (*thermocouple*), dipasang pada alat sebagai pengukur suhu udara saat setelah melewati alat penukar panas yang diberi jarak dari peletakan sensor keluar sebelumnya untuk mengetahui apakah ada perubahan suhu yang terjadi.
6. Sensor temperatur (*thermocouple*), dipasang pada alat sebagai pengukur suhu udara saat setelah melewati alat penukar panas dengan jarak paling jauh dari alat, bertujuan untuk mengetahui seberapa besar perbedaan temperaturnya.

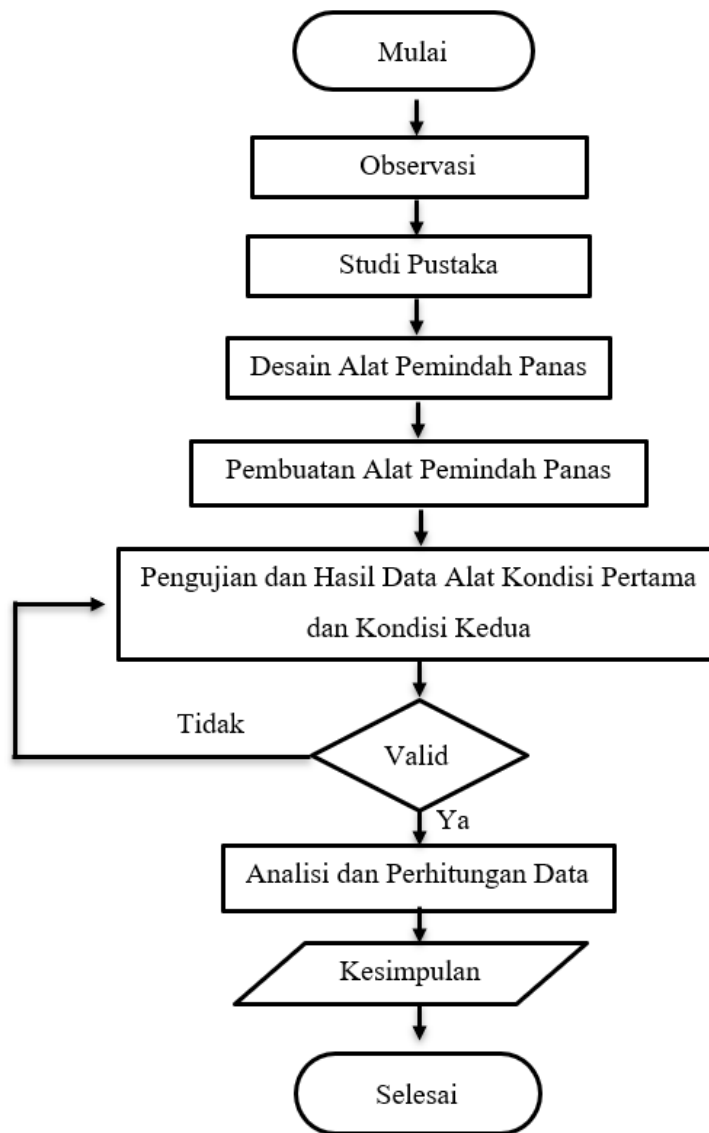
7. Sensor temperatur (*thermocouple*), dipasang di bagian luar tabung untuk mengetahui temperatur dari lingkungan saat alat beroperasi.
8. Sensor temperatur (*thermocouple*), dipasang pada sebatang besi yang nantinya akan menjadi alat ukur pada suhu air pada tabung dengan kedalaman tertentu dari permukaan air dalam tabung.
9. Sensor temperatur (*thermocouple*), dipasang pada sebatang besi yang nantinya akan menjadi alat ukur suhu air pada tabung kedalaman tertentu diletakkan lebih dalam dari nomor delapan
10. Sensor temperatur (*thermocouple*), dipasang pada sebatang besi yang nantinya akan menjadi alat ukur suhu air pada tabung kedalaman tertentu diletakkan lebih dalam dari nomor sembilan
11. Sensor temperatur (*thermocouple*), dipasang pada sebatang besi yang nantinya akan menjadi alat ukur suhu air pada tabung kedalaman tertentu diletakkan lebih dalam dari nomor sepuluh
12. Sensor temperatur (*thermocouple*), dipasang pada sebatang besi yang nantinya akan menjadi alat ukur suhu air pada tabung kedalaman tertentu diletakkan lebih dalam dari nomor sebelas, untuk mengetahui perubahan suhu yang terjadi di dalam air didalam tabung.

Sebelum dilakukannya pengambilan data, terlebih dahulu alat ukur dan sensor-sensor disiapkan dan ditentukan di titik-titik mana akan diletakkan pada alat, setelah ditentukan selanjutnya pemasangan sensor dipasang pada bagian alat yang akan menjadi jalur lewatnya udara masuk dan udara keluar dengan melubangi bagian pipa-pipa tersebut, yang nantinya akan menjadi jalur udara dari tiupan blower dan pipa tempat udara keluar dari selang setelah melewati alat penukar panas, dilakukan juga pemasangan beberapa sensor pada tingkat kedalaman air dengan menggunakan sensor yang sama yaitu *thermocouple*, kemudian untuk mengetahui suhu dari lingkungan, maka digunakan juga sensor temperature tersebut pada bagian luar alat atau media penampung air untuk mengetahui suhu lingkungan saat pengambilan data dilakukan.

Sebagai kelengkapan data digunakan juga sensor kelembaban, intensitas cahaya dan anemo meter, untuk anemo meter menggunakan jenis *Hot Wire Anemometer AM-4215SD* sebagai alat ukurnya. Setelah semua sensor diletakkan pada bagian-bagian yang sudah ditentukan pada alat penukar panas tersebut, selanjutnya alat sensor dihidupkan satu-persatu dan mengatur interval perekaman data, untuk base data logger pada sensor disambungkan pada laptop untuk perekaman data dicatat pada Microsoft Excel dengan menggunakan software yang telah diinstal sebelumnya pada laptop. Pengambilan data ini dilakukan dalam dua kali dua puluh empat jam.

Flowchart

Secara keseluruhan proses penelitian dilakukan dengan diagram alir seperti pada [Gambar 6](#).



Gambar 6. Flowchart Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data temperatur pada [Table 4](#) didapatkan menggunakan alat ukur *VSCLAB WLN-01 BASE* dengan 6 *probe thermocouple* yang dihubungkan dengan laptop untuk merekam dan membaca hasil data. Data diambil selama 36 jam namun yang menjadi patokan pada analisis penelitian yaitu selama sembilan jam saat matahari sudah bersinar dimana suhu udara sudah naik mulai dari jam delapan pagi sampai jam lima sore. Data hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai temperatur udara yang masuk kedalam saluran alat pemindah panas berada dikisaran 30,75 °C hingga yang tertinggi 33,86 °C pada hari pertama, untuk temperatur air yang berada didalam tabung saat pengujian berada pada suhu 28 °C hingga 28,94 °C, dengan tingkat kelembaban udara maksimum 99,99 % dan minimum 99,14 % dan kecepatan udara yang mengalir melewati selang 9,6 m/s, temperatur udara keluar dari alat pemindah panas berada pada suhu 28,44 °C dan yang terendah 28 °C.

Tinggi dan rendahnya suhu udara yang masuk pada alat pemindah panas bergantung pada kondisi cuaca dan waktu pengambilan data pada alat eksperimen, untuk kondisi cuaca

yang terjadi pada waktu pengujian hari pertama berada pada kondisi mendung. Sehingga kelembaban yang terukur cukup tinggi seperti yang dapat terlihat pada [Tabel 4](#).

Table 4. Data Temperatur dan Hasil Perhitungan Hari Pertama

No	Jam (WIB)	Inlet Udara	Air Tabung	Outlet Udara	Kecepatan Udara	Kelembaban Udara
1	08:00	32,86 °C	28,56 °C	28,38 °C	9,6 m/s	99,51
2	09:00	33,76 °C	28,69 °C	28 °C	9,6 m/s	98,80
3	10:00	33,81 °C	28,90 °C	28,59 °C	9,6 m/s	99,14
4	11:00	32,73 °C	28,94 °C	28,44 °C	9,6 m/s	99,78
5	12:00	32,16 °C	28,88 °C	28,34 °C	9,6 m/s	99,99
6	13:00	32,34 °C	28,77 °C	28,33 °C	9,6 m/s	99,99
7	14:00	32,40 °C	28,76 °C	28,28 °C	9,6 m/s	99,99
8	15:00	31,74 °C	28,7 °C	28,27 °C	9,6 m/s	99,99
9	16:00	30,75 °C	28,67 °C	28,19 °C	9,6 m/s	99,99
10	17:00	30,72 °C	28,40 °C	28,01 °C	9,6 m/s	99,99

Data temperatur dari uji eksperimen pada hari berikutnya dengan kondisi air yang lebih dingin dari hari sebelumnya akibat hujan yang terjadi pada malam hari seperti yang dapat dilihat pada [Tabel 5](#).

Hasil pengukuran pada hari kedua menunjukkan bahwa suhu temperatur udara yang masuk kedalam alat pemindah panas yaitu 33,81 °C pada pukul 10:00 untuk yang tertinggi dan 30,72 °C pada pukul 17:00 untuk suhu terendah, untuk temperatur air yang berada didalam tabung saat pengujian berada pada suhu 28,40 °C hingga 28,94 °C, dengan tingkat kelembaban udara maksimum 99,99% dan minimum 99,14%. Kelembaban udara ini juga bergantung pada lingkungan tempat pengujian alat eksperimen, untuk tempat pengujian pada alat pemindah panas udara-air ini dilakukan di tempat teduh dan terhindar dari paparan sinar matahari langsung.

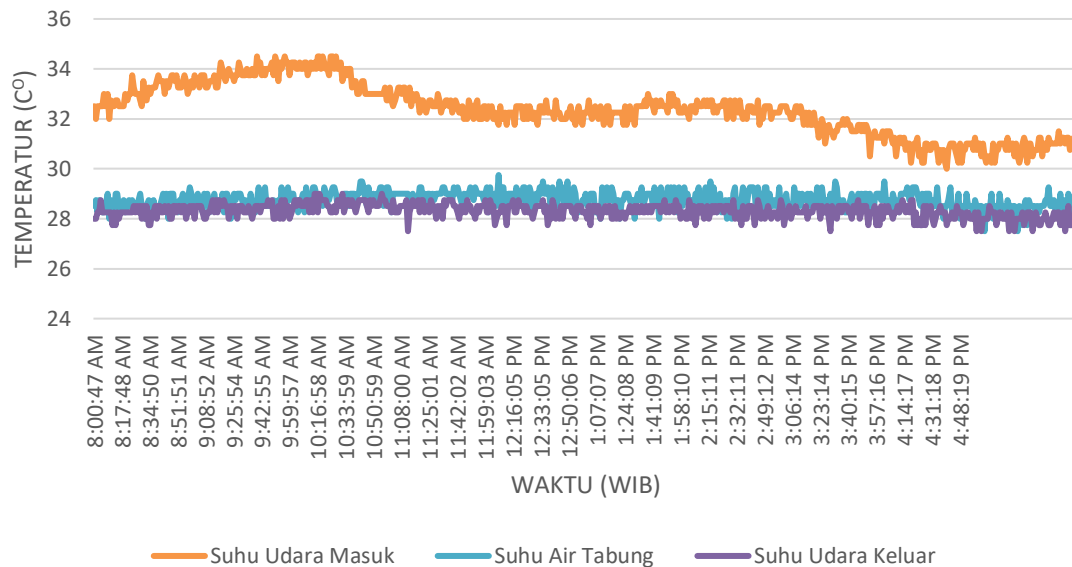
Temperatur udara yang keluar dari alat pemindah panas pada eksperimen dihari kedua berada pada suhu 28 °C hingga 28,59 °C dengan kecepatan udara 9,6 m/s seperti yang tertera pada [Tabel 5](#).

Table 5. Data Temperatur dan Hasil Perhitungan Hari Kedua

No	Jam (WIB)	Inlet Udara	Air Tabung	Outlet Udara	Kecepatan Udara	Kelembaban Udara
1	08:00	31,30 °C	27,21 °C	26,96 °C	9,6 m/s	99,78
2	09:00	32,44 °C	27,28 °C	27,07 °C	9,6 m/s	96,57
3	10:00	32,96 °C	27,38 °C	27,23 °C	9,6 m/s	92,81
4	11:00	33,60 °C	27,48 °C	27,25 °C	9,6 m/s	90,80
5	12:00	34,28 °C	27,58 °C	27,45 °C	9,6 m/s	91,81
6	13:00	34,65 °C	27,66 °C	27,55 °C	9,6 m/s	92,26
7	14:00	34,87 °C	27,84 °C	27,70 °C	9,6 m/s	92,73
8	15:00	34,39 °C	27,94 °C	27,72 °C	9,6 m/s	95,79
9	16:00	32,10 °C	28,04 °C	27,67 °C	9,6 m/s	99,67
10	17:00	31,46 °C	28,15 °C	27,46 °C	9,6 m/s	99,78

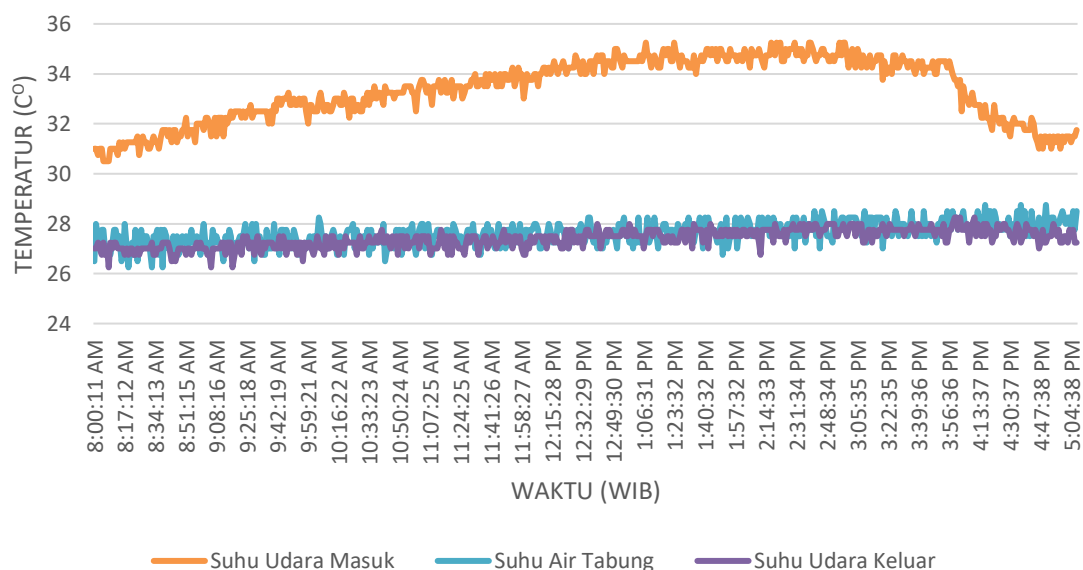
Data temperatur pada [Tabel 5](#) merupakan data dari hari selanjutnya, terlihat pada tabel dimana suhu outlet udara memiliki temperatur yang lebih rendah dari hari sebelumnya, hal

ini terjadi akibat kondisi cuaca pengambilan data pada hari sebelumnya dalam kondisi hujan membuat suhu udara turun, menjadikan hari berikutnya air didalam tabung menjadi lebih dingin. Untuk data grafik yang didapatkan dari perubahan temperatur berdasarkan waktu pengujian dapat dilihat seperti yang ditunjukkan pada [Gambar 7](#).



Gambar 7. Perubahan Temperatur pada Alat Penukar Panas

Dari [Gambar 7](#) dapat dilihat bahwa suhu udara keluar (*outlet*) menjadi lebih dingin dari suhu udara masuk (*inlet*), namun disini suhu air tabung terkadang lebih tinggi dari suhu air keluar hal ini bisa disebabkan oleh adanya perbedaan suhu di beberapa titik didalam air pada tabung atau kurangnya keakuratan pengambilan data saat penelitian, akan tetapi dari grafik sudah terlihat bahwa suhu udara yang masuk dapat turun setelah melalui sistem pemindah panas. Untuk grafik perubahan temperatur berdasarkan waktu hari kedua pada pengujian alat pemindah panas dapat dilihat pada [Gambar 8](#).



Gambar 8. Perubahan Temperatur pada Alat Penukar Panas

Pada data grafik hari berikutnya dapat dilihat pada Gambar 8 suhu udara masuk rata-rata lebih tinggi dibanding grafik pada hari sebelumnya, hal ini diakibatkan oleh faktor cuaca dimana cuaca pada hari pengambilan data pada Gambar 8 cerah sedangkan hari sebelumnya hujan. Dari data grafik diatas dapat di analisa bahwa suhu udara masuk mulai naik saat jam delapan pagi dimana matahari sudah bersinar yang membuat suhu lingkungan menjadi lebih tinggi, pada mulanya suhu yang masuk dari tiupan blower berada pada suhu 31°C pada jam delapan pagi, namun terus naik bertahap setiap jam berikutnya hingga mencapai suhu tertingginya pada pukul 13:00 pm – 14:00 pm yaitu di kisaran temperatur 34°C, dan dapat pula dilihat suhu air dalam tabung dan suhu udara keluar mengalami kenaikan suhu perlahan pula selama berjalannya waktu. Pada grafik di Gambar 8 penurunan suhu setelah melewati alat pemindah panas mengalami penurunan yang cukup signifikan yaitu berkisar 4°C hingga 7,17 °C. Untuk mengetahui kapasitas pendinginan dari alat maka disusun tabel hasil pengujian seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6 untuk hari pertama dan Tabel 7 untuk hari kedua.

Table 6. Kapasitas Pendinginan dari Hasil Pengujian Hari Pertama

No	Jam (WIB)	m (kg/m ³)	c_p (J/Kg°C)	ΔT (°C)	Q (kj)
1	08:00	1,2	1,005	4,48	5,40
2	09:00	1,2	1,005	5,76	6,94
3	10:00	1,2	1,005	5,22	6,29
4	11:00	1,2	1,005	4,29	5,17
5	12:00	1,2	1,005	3,82	4,60
6	13:00	1,2	1,005	4,01	4,83
7	14:00	1,2	1,005	4,12	4,96
8	15:00	1,2	1,005	3,47	4,18
9	16:00	1,2	1,005	2,56	3,08
10	17:00	1,2	1,005	2,71	3,26

Berdasarkan Tabel 6 yang menunjukkan data perhitungan kapasitas pendinginan dari alat pemindah panas udara-air pada hari pertama, yang menggunakan persamaan no (4), dapat dilihat bahwa kalor yang dapat dilepas oleh media penampung air terhadap udara yang masuk melewati selang per jamnya berkisar dari 3,08 kj hingga 6,94 kj, dan Tabel 7 menunjukkan perhitungan kapasitas pendinginan dari pengujian hari kedua dimana kondisi lingkungan dengan cuaca cerah dan dapat dilihat kalor yang dapat dilepas oleh sistem alat pemindah panas berkisar 4,82 kj hingga 8,64 kj.

Table 7. Kapasitas Pendinginan dari Hasil Pengujian Hari Kedua

No	Jam (WIB)	m (kg/m ³)	c_p (J/Kg°C)	ΔT (°C)	Q (kj)
1	08:00	1,2	1,005	4,34	5,23
2	09:00	1,2	1,005	5,37	6,47
3	10:00	1,2	1,005	5,73	6,91
4	11:00	1,2	1,005	6,36	7,67
5	12:00	1,2	1,005	6,83	8,23
6	13:00	1,2	1,005	7,1	8,56
7	14:00	1,2	1,005	7,17	8,64
8	15:00	1,2	1,005	6,67	8,04
9	16:00	1,2	1,005	4,43	5,34
10	17:00	1,2	1,005	4	4,82

Dari hasil penurunan suhu yang dicapai seperti yang dapat dilihat dari Tabel 4 dan Tabel 5, dimana suhu lingkungan yang masuk melalui inlet memiliki kisaran dari 30,72°C hingga 34,87°C kemudian dapat diturunkan melalui alat eksperimen penukar panas udara-air menjadi 28 °C hingga 26,96 °C dengan selisih penurunan suhu 2,5 °C hingga 7°C seperti yang dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7. Kemudian dari tercapainya penurunan suhu udara yang diukur pada alat penukar panas udara-air tersebut, maka berdasarkan kategori kenyamanan termal pada Tabel 1 maka hasil penurunan suhu udara dapat digolongkan menjadi hangat nyaman.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Studi eksperimen alat pemindah panas udara-air telah memberikan perubahan suhu udara yang cukup signifikan dari udara lingkungan yang masuk, terhadap udara yang keluar dari alat pemindah panas dan membuat suhu udara menjadi lebih rendah. Waktu pengujian yang menjadi patokan mulai dari jam 08:00 dimana matahari sudah bersinar yang secara langsung membuat suhu udara pada lingkungan sudah naik, hingga jam 17:00 saat suhu udara sudah mulai turun. Hasil percobaan menunjukkan bahwa sebelum disalurkan ke dalam ruangan, suhu udara luar dapat diturunkan cukup signifikan melalui heat exchanger yang menggunakan air sebagai media pendingin. Berdasarkan hal tersebut alat pemindah panas udara-air dapat menjadi alternatif dalam penggunaan di sistem ventilasi dan sirkulasi udara dengan penurunan suhu berkisar dari 2,56°C hingga 7,17°C yang dapat berperan untuk mencapai kenyamanan termal apabila nantinya dijadikan sebagai sirkulasi udara pada ruangan. Kapasitas pendinginan yang diperoleh dari pengujian alat pemindah panas udara-air untuk hari pertama dengan kondisi cuaca yang mendung 3,08 kj hingga 6,94 kj, dan pada hari kedua dengan cuaca cerah kapasitas pendinginan yang diperoleh 4,82 kj hingga 8,64 kj. Maka hasil eksperimen alat pemindah panas udara-air dapat dijadikan sebagai alat alternatif dalam pengkondisian udara terhadap sirkulasi dan pengkondisian suhu udara terutama pada siang hari yang dapat di implementasikan kepada ruangan pada rumah maupun ruangan tempat bekerja.

Saran

Berdasarkan eksperimen penelitian yang telah dilakukan, untuk pengembangan penelitian berikutnya, penampung air yang digunakan sebagai media pendingin pasif bisa di maksimalkan lagi dengan penempatannya di tempat yang lebih sejuk atau yang tidak terkena suhu langsung dari lingkungan, meskipun air didalam tabung dapat melepas suhunya di malam hari namun tidak terlalu maksimal dan untuk penggunaan *blower* bisa menggunakan *Cyclone ventilator turbin* untuk mengalirkan udara luar menuju ruang uji karena menggunakan *blower* berjenis *inline duct ventilator fan* dapat menimbulkan efek panas yang lumayan tinggi.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] R. M. Syahadat and R. I. Syah Putra, "Pemanasan Global Dan Kerusakan Lingkungan: Apakah Masih Menjadi Isu Penting Di Indonesia?," J. Envirotek, vol. 14, no. 1, pp. 43–50, 2022, doi: 10.33005/envirotek.v14i1.179.
- [2] E. A. Giofandi, "Persebaran Fenomena Suhu Tinggi melalui Kerapatan Vegetasi dan Pertumbuhan Bangunan serta Distribusi Suhu Permukaan," J. Geogr. Media Inf. Pengemb. dan Profesi Kegeografian, vol. 17, no. 2, pp. 56–62, 2020, doi: 10.15294/jg.v17i2.24486.

-
- [3] T. Ahmed, P. Kumar, and L. Mottet, "Natural ventilation in warm climates: The challenges of thermal comfort, heatwave resilience and indoor air quality," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 138, no. May 2020, p. 110669, 2021, doi: 10.1016/j.rser.2020.110669.
 - [4] R. Pratama and L. Parinduri, "Penganggungan Pemanasan Global," *Cetak) Bul. Utama Tek.*, vol. 15, no. 1, pp. 91–95, 2019.
 - [5] I. Saputra and A. Mursadin, "Analisis Temperatur Lingkungan Terhadap Kinerja Cooling Tower Di Pt. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk. P-12 Tarjun Kalimantan - Selatan," *Jtam Rotary*, vol. 3, no. 2, pp. 159–172, 2021, doi: 10.20527/jtam_rotary.v3i2.4140.
 - [6] R. I. Yaqin et al., "Analisa Perpindahan Panas Heat Exchanger Mesin Induk (Studi Kasus: KM. Sumber Mutiara)," *J. Teknol. Terap.*, vol. 8, no. 1, pp. 53–60, 2022.
 - [7] C. Ezgi, "Design and thermodynamic analysis of waste heat-driven zeolite-water continuous-adsorption refrigeration and heat pump system for ships," *Energies*, vol. 14, no. 3, 2021, doi: 10.3390/en14030699.
 - [8] S. E. Oster and M. R. Albert, "Thermal conductivity of polar firn," *J. Glaciol.*, vol. 68, no. 272, pp. 1141–1148, 2022, doi: 10.1017/jog.2022.28.
 - [9] S. J. Yu, I. G. Ryu, M. J. Park, and J. K. Im, "Long-term relationship between air and water temperatures in Lake Paldang, South Korea," *Environ. Eng. Res.*, vol. 26, no. 4, pp. 0–3, 2021, doi: 10.4491/eer.2020.177.
 - [10] L. Larson and P. A. Larson, "The natural heating and cooling of water," *Rangelands*, vol. 19, no. 6, pp. 6–8, 1997.
 - [11] C. Jacobs, L. Klok, M. Bruse, J. Cortesão, S. Lenzholzer, and J. Kluck, "Are urban water bodies really cooling?," *Urban Clim.*, vol. 32, no. January, p. 100607, 2020, doi: 10.1016/j.uclim.2020.100607.
 - [12] K. Winardo et al., "PADA BANGUNAN GEDUNG," vol. 17, no. 2, pp. 122–129, 2023.
 - [13] R. Elbes and A. S. Munawaroh, "Penilaian kenyamanan termal pada bangunan perpustakaan Universitas Bandar Lampung," *ARTEKS J. Tek. Arsit.*, vol. 4, no. 1, pp. 85–98, 2019.
 - [14] "E-Buletin Prakiraan Musim Kemarau Sumatera Barat 2023 - Diseminasi Staklim Padang Pariaman _ PDF Online _ FlipHTML5.PDF." .
 - [15] "Suhu Tahunan Kota Padang 2019-2021," *Badan Pus. Stat. Kota Padang*, p. <https://padangkota.bps.go.id/indicator/153/371/1/s>.
 - [16] E. Estrada, M. Labat, S. Lorente, and L. A. O. Rocha, "The impact of latent heat exchanges on the design of earth air heat exchangers," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 129, pp. 306–317, 2018, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2017.10.007.