

Ground-Air Heat Exchanger as Passive Cooling In Building Ventilation

Alat Penukar Panas Tanah-Udara sebagai Pendingin Pasif pada Ventilasi Bangunan

Ferdi Syaputra S¹, Remon Lapisa^{1,2*}, Bulkia Rahim¹, Rizky Ema Wulansari¹

Abstract

Energy consumption for air conditioning systems and thermal comfort in a building in Indonesia is quite high. The solution that can be developed is to use the thermal inertia stored in the soil. This research aims to design and test the effectiveness of heat transfer between soil-air as a passive coolant in building ventilation systems. This research was conducted for 48 hours, the incoming air velocity was 4.68 m/s, the measurement results showed various weather and temperature conditions including average light intensity of 1822.6 Lux, average ambient temperature of 28.4 °C, average humidity of 99.4%, average room temperature of 30 °C, average water temperature of 28 °C and average soil temperature of 28.1 °C and maximum effectiveness value of 2.46 and minimum air value of 0.9. Experimental results show that groundwater-air heat transfer used as passive cooling in building ventilation systems can provide good performance with temperature reductions reaching 2-10°C.

Keywords

Environment, Soil, Passive Cooling, Groundwater-Air Heat Transfer, Building Ventilation.

Abstrak

Konsumsi energi untuk sistem pengkondisian udara dan kenyamanan termal bangunan di Indonesia cukup tinggi. Salahsatu solusi yang dikembangkan ialah menggunakan inersia termal yang tersimpan di dalam tanah. Penelitian ini bertujuan untuk merancang-bangun serta menguji efektivitas perpindahan kalor antara tanah-udara sebagai pendingin pasif pada sistem ventilasi bangunan. Penelitian dilakukan selama 48 jam dan kecepatan udara masuk 4,68 m/s, hasil pengukuran menunjukkan berbagai kondisi cuaca maupun suhu meliputi intensitas cahaya rata-rata 1822,6 Lux, temperature lingkungan rata-rata 28,4 °C, kelembapan rata-rata 99,4 %, temperature ruangan rata-rata 30 °C, temperatur air rata-rata 28 °C dan temperatur tanah rata-rata 28,1 °C dan nilai efektivitas maksimum sebesar 2,46 dan nilai minimum udara sebesar 0,9. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perpindahan kalor air tanah-udara yang digunakan sebagai pendingin pasif pada sistem ventilasi bangunan memiliki kinerja yang cukup baik dengan pengurangan temperatur mencapai 2-10°C.

Kata Kunci

Lingkungan, Tanah, Pendingin Pasif, Perpindahan Kalor Tanah-udara, Ventilasi Bangunan.

¹ Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

² Centre for Energy and Power Electronics Reseach, Universitas Negeri Padang
Kampus UNP, Jl. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Padang, Sumatera Barat

* remonlapisa@ft.unp.ac.id

Submitted : February 22, 2023. Accepted : March 31, 2023. Published : April 03, 2023.

PENDAHULUAN

Indonesia ialah negara dengan iklim tropis yang hanya mempunyai dua musim, ialah musim kemarau dan musim hujan. Pada musim kemarau terjadi kenaikan temperatur, terdapatnya pemanasan global menyebabkan kenaikan temperatur di wilayah tropis bertambah pesat [1]. Untuk iklim tropis dengan suhu bangunan yang relatif hangat, tanah dapat bertindak sebagai media pendingin, *mentransfer* panas berlebih dari bangunan. Tanah menerima energi matahari melalui permukaannya dan berfungsi sebagai *reservoir* energi matahari yang besar [2-3]. Naik turunnya suhu tanah tergantung kedalaman tanah. Pada kedalaman 10 meter tanah memiliki suhu lebih tinggi dari udara luar di musim dingin, sebaliknya tanah memiliki suhu lebih rendah dari udara luar di musim panas [4]. Hal ini merupakan potensi untuk menggunakan inersia tanah untuk pendinginan pasif pada bangunan. Salah satu alat yang menggunakan prinsip pendinginan pasif adalah alat penukar kalor tanah-udara [5].

Kenyamanan termal adalah salah satu aspek utama yang perlu dipertimbangkan dalam suatu bangunan [6]. Kenyamanan termal merupakan kondisi udara yang nyaman sehingga manusia merasakan kepuasan terhadap lingkungan [7]. Kenyamanan termal sangat dipengaruhi oleh sistem pengkondisian udara dan sistem ventilasi [8-10]. Kenyamanan termal berkaitan dengan cuaca dan suhu lingkungan. Serta faktor-faktor yang dapat mengganggu kenyamanan termal, menurut standar yang ditetapkan SNI 03-6572-2001, Suhu ruangan yang sehat adalah antara 18°C-26°C. Tingkat kenyamanan suhu orang Indonesia seperti ditunjukkan pada Tabel 1 [11].

Tabel 1. Standar kenyamanan termal SNI 03-6572-2001

	Temperatur Efektif (TE)	Kelembaban/RH (%)
Sejuk Nyaman	20,5°C - 22,8°C	50%
Ambang Batas	24°C	80%
Nyaman Optimal	22,5°C - 25,8°C	70%
Ambang Batas	28°C	
Hangat Nyaman	25,8°C - 27,1°C	60%
Ambang Batas	31°C	

Penelitian berlokasi di Kota Padang sebuah kota di pesisir barat Pulau Sumatera yang terletak di - 0.898 Lintang Selatan dan 100.35 Bujur Timur ([Gambar 1](#)). Suhu tahunan minimum 22,5 °C, maksimum 33,7 °C, dan rata-rata 27,5 °C, berturut-turut. Karena terletak di daerah pesisir di daerah tropis, maka suhu bangunan, kelembaban dan curah hujan rata-rata tahunan di Kota Padang cukup tinggi yaitu 30 °C, 80,25 % dan 343,7 mm³·tahun⁻¹ [12]. Bisa di lihat pada [tabel 1](#) kota padang memiliki kondisi suhu yaitu ambang batas dengan kondisi cuaca seperti ini, kenyamanan termal bangunan di kota Padang menjadi hal krusial yang perlu diperhatikan. Kondisi tempat penelitian ditunjukkan pada [Gambar 1](#).



Gambar 1. Lokasi Penelitian Kota Padang di Peta

Bangunan yang sehat terdapat sistem ventilasi yang baik, sistem ventilasi digunakan pada bangunan untuk sirkulasi udara, sehingga sistem ventilasi sangat perlu diperhatikan untuk mengurangi zat yang berbahaya bagi manusia, seperti karbon dioksida (CO_2), bakteri dan virus-virus yang berada di sebuah bangunan [13].

Penelitian ini bertujuan untuk rancang bangun dan melakukan uji efektivitas perpindahan kalor tanah-udara sebagai pendingin pasif pada sistem ventilasi bangunan.

Efektivitas Penukar Panas

Efektivitas penukar panas memiliki beberapa keuntungan untuk menganalisis masalah yang perlu membandingkan berbagai jenis penukar panas untuk memilih yang terbaik. Untuk menentukan keefektifitasan penukar panas secara eksperimen dapat didefinisikan oleh persamaan 1 [14].

$$\varepsilon = \frac{T_{in} - T_{out}}{T_{in} - T_{soil}} \quad (1)$$

Dimana :

- ε = Efektivitas
- T_{in} = Temperatur udara masuk
- T_{out} = Temperatur udara keluar
- T_{soil} = Temperatur tanah

METODE PENELITIAN

Pendekatan Penelitian

Penelitian ini bersifat kuantitatif mulai dari pengumpulan data, penafsiran, serta hasilnya. Jenis penelitian ini bersifat eksperimental dan dilakukan untuk membuktikan sebuah fenomena dalam sebuah uji penelitian eksperimental.

Alat penukar panas tanah-udara terdiri dari selang spiral yang ditempatkan di dalam tabung dan kemudian tabung tersebut diisi dengan air dan dikubur di dalam tanah untuk menyuplai pengkondisian udara di dalam bangunan. Fenomena tersebut sangat sederhana, bergantung pada perbedaan suhu antara lingkungan, tanah dan udara. Udara lingkungan disalurkan ke dalam selang spiral yang ditempatkan di dalam tabung yang ditimbun di dalam tanah dengan bantuan blower, udara tersebut bersirkulasi di dalam ruang uji dan mengalami perpindahan panas secara langsung [15]. Untuk pengumpulan data menggunakan pencatat

data Vascolab yang dilengkapi dengan sensor temperatur, pencahayaan dan kelembapan. Hasil data berupa tabel yaitu temperatur *inlet*, temperatur *outlet*, temperatur lingkungan, temperatur tanah, temperatur air, temperatur ruangan yang di ambil selama 48 jam dari tanggal 28-30 Oktober 2022 mulai jam 14.11 – 14.11, kemudian interval perekaman data dilakukan 1 kali dalam 1 menit dan *Vascolab* data *logger* dihubungkan dengan laptop/PC.

Spesifikasi *Blower*

Penelitian ini menggunakan *blower* model *Duct Ventilator Fan* ([Gambar 2](#)) dengan spesifikai teknis seperti pada [Tabel 2](#).



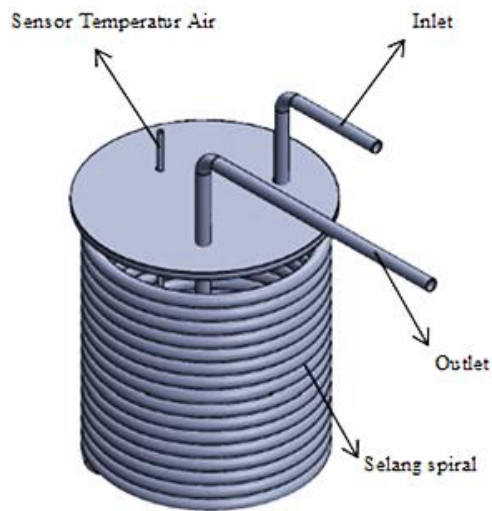
[Gambar 2](#). Blower

[Tabel 2](#). Spesifikasi Blower

No	Spesifikasi	Nilai
1.	Medel	<i>Duct Ventilator Fan</i>
2.	Arus	220 V
3.	Frekuensi	50 Hz
4.	Putaran	2600 Rpm
5.	Kecepatan Udara	4,68 m/s

Desain Alat Penukar Panas Tanah-udara

[Gambar 3](#) merupakan desain alat dan realisasi alat penukar panas tanah-udara. Alat ini memiliki komponen utama yaitu tabung penampung air dibuat dari plat besi tebal 2 mm, dengan tinggi 120 cm dan memiliki diameter 100 cm dan selang PVC dengan bentuk spiral memiliki panjang 4000 cm dan diameter 2 *inchi*. Selang ini memiliki keunggulan berupa dinding bagian dalam yang halus, fleksibel, elastis sehingga aliran yang lancar dapat dicapai. Rangkaian pipa berbentuk *helical tube* dengan diameter 80 cm dan 16 lilitan. Semakin banyak lilitan maka semakin baik penukaran panas udara yang terjadi di dalam ruang uji.



a)

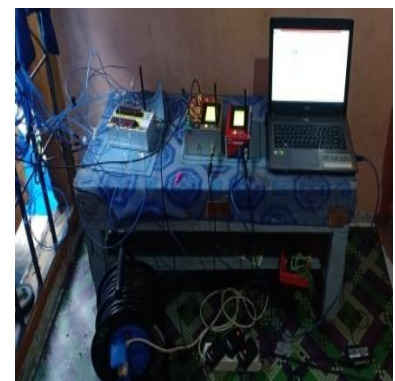


b)

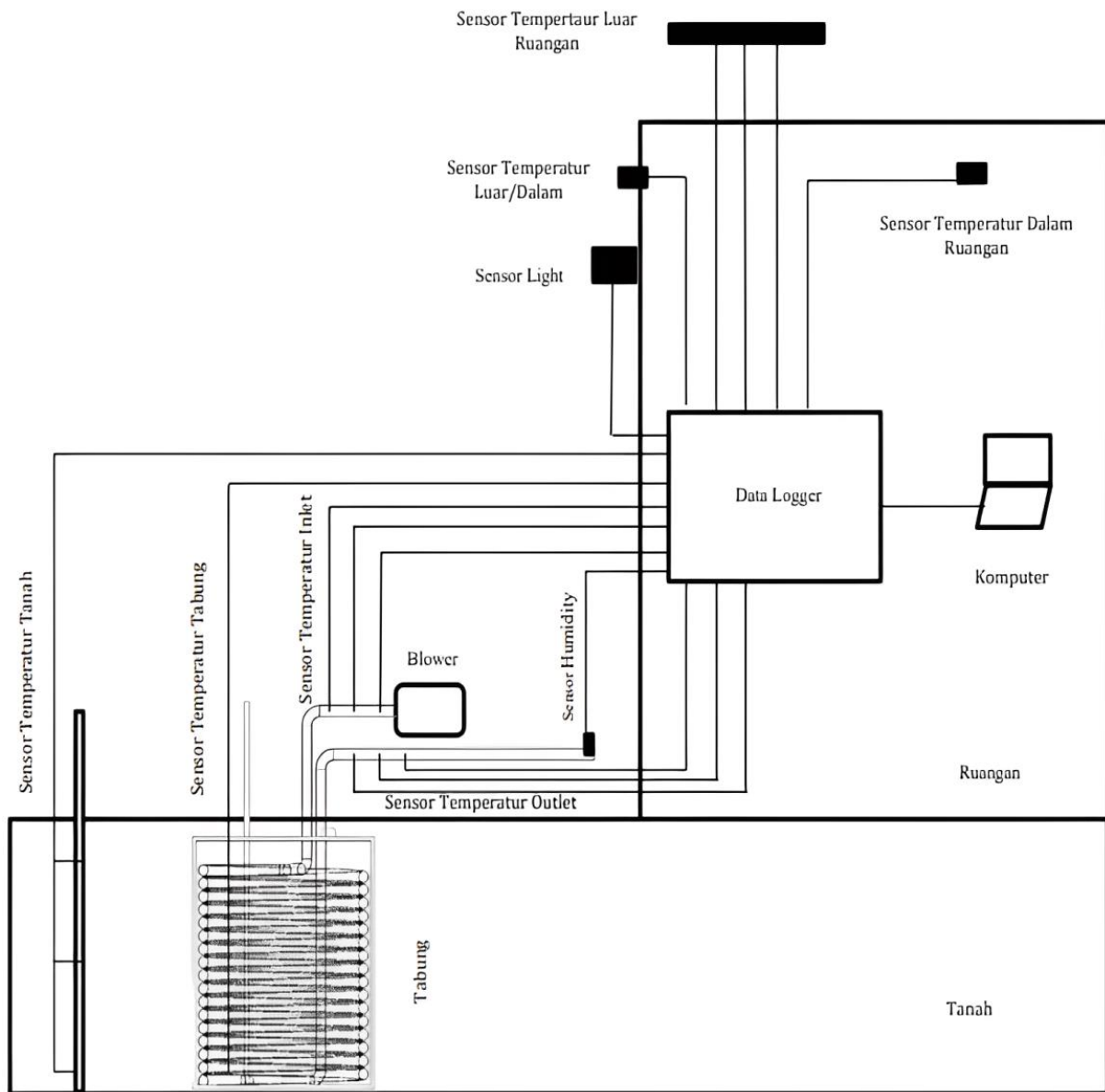
Gambar 3. a. Desain alat, b. Rangkaian Selang dan Tabung

Set-Up Eksperimen dan Instrumen

Pengukuran suhu pada selang *heat exchanger*, suhu air pada tabung dan suhu tanah dilakukan dengan menggunakan termokopel data *logger*. Sensor yang dipakai adalah Termokopel Tipe K dengan *interval* pengukuran $-200-1300\text{ }^{\circ}\text{C}$, resolusi $0,25\text{ }^{\circ}\text{C}$, dan *error* sebesar $\pm 2\%$. Aliran udara di alirkan dengan *blower* dan sensor di letakan pada 20 titik sensor tersebut terdiri dari 18 termokopel (3 termokopel untuk T_{in} , 3 termokopel untuk T_{soil} , 3 termokopel untuk T_{water} , 3 termokopel untuk T_{out} , 3 termokopel untuk suhu bangunan, 3 termokopel untuk kondisi lingkungan), 1 sensor cahaya, 1 sensor kelembapan dan dihubungkan di komputer dengan menggunakan *vascolab data logger*. Pada pengambilan data suhu bangunan pada penelitian ini menggunakan ruangan dengan ukuran $3 \times 3\text{ m}$ dan adapun dokumentasi proses eksperimen dan began set-up eksperimen seperti terlihat pada Gambar 4.



a

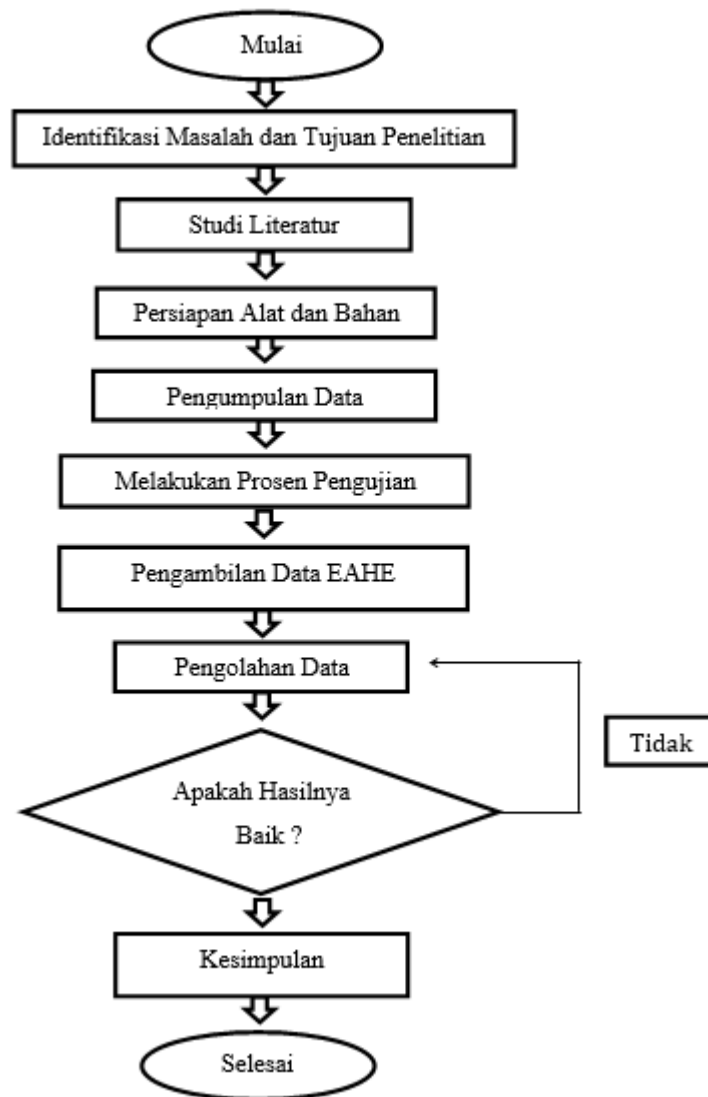


b

Gambar 4. a) Proses penelitian dan pengambilan data, b) set-up peralatan eksperimen

Flowchart

Secara keseluruhan proses penelitian dilakukan dengan diagram alir seperti pada Gambar 5.

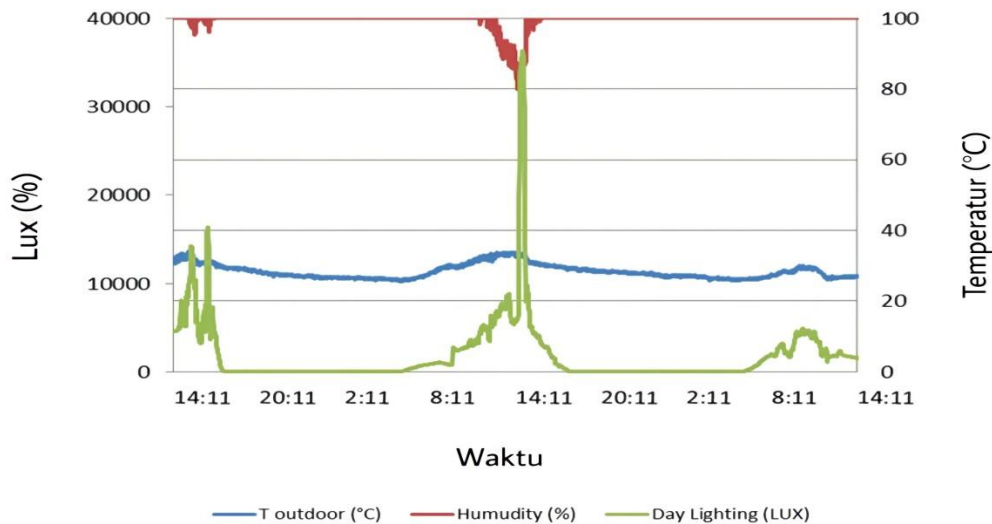


Gambar 5. Flowchart penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Luar Bangunan

Setelah dilakukan penelitian, diperoleh temperatur lingkungan, kelembapan dan pencahayaan pada Gambar 6, data penelitian menunjukkan bahwa nilai temperatur udara luar maksimum sebesar 34 °C, minimum sebesar 25,5 °C, nilai kelembapan udara maksimum 99,99 %, minimum sebesar 79,85 %. Untuk nilai pencahayaan nilai maksimum sebesar 36305.83 Lux, minimum sebesar 0 Lux. Suhu di luar bangunan tinggi dengan nilai maksimal 34°C, minimal 25,5°C. Tinggi atau rendahnya suhu di luar bangunan bergantung pada kondisi cuaca dan waktu pengambilan data. Untuk suhu 34°C didapatkan pada siang hari dan untuk suhu 25,5°C didapatkan pada malam hari. Kelembapan Pada tanggal 28 Oktober dari pukul 14:11 hingga 16:43, maksimum adalah 99,99 % dan minimum adalah 95,31%, dan pada tanggal 29 Oktober dari pukul 12:11 hingga 15:13 maksimum adalah 99,99 % dan minimum diperoleh 79,85%. Pada tanggal 28-29 Oktober pukul 16.43 - 15.33 dan 29-30 Oktober pukul 15.33 - 14. 11, kelembapan didapatkan sangat tinggi mencapai 99,99% karena memiliki beberapa faktor. Naik turunnya kelembapan udara pada siang hari disebabkan oleh besarnya penyinaran matahari.



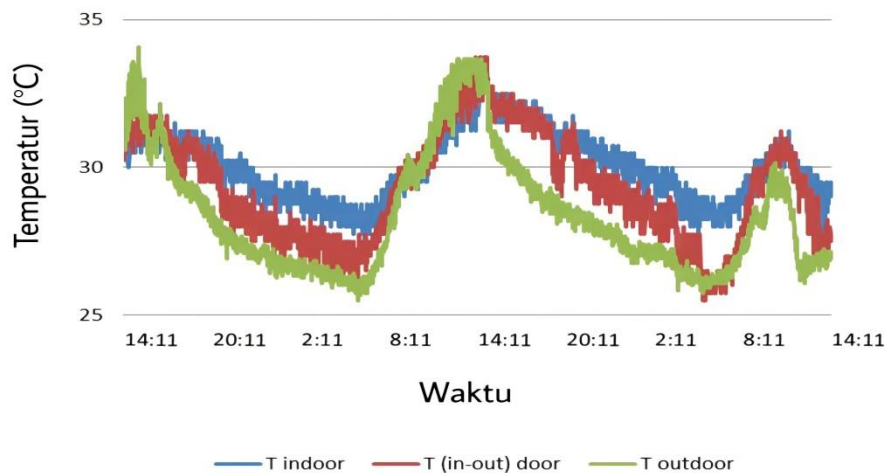
Gambar 6. Kondisi Luar Bangunan

Pada saat intensitas penyinaran matahari tinggi maka kelembaban relatif akan menurun, begitu pula sebaliknya pada saat intensitas penyinaran matahari sedang atau rendah akan mempengaruhi tingginya kelembapan udara. Hal ini dikarenakan sinar matahari akan menghilangkan uap air sehingga mengakibatkan penurunan kelembapan udara dan malam hari kelembaban cenderung sangat tinggi disebabkan karena udara lebih dingin pada malam hari tidak dapat menampung uap air sebanyak udara yang hangat, saat udara tidak dapat menampung uap air, maka uap air akan berkumpul dipermukaan bumi dalam bentuk embun. Sehingga pada malam hari kelembaban cenderung tinggi. Kelembaban diperoleh pada penelitian ini cukup tinggi, kelembaban yang tinggi dapat menyebabkan ketidaknyamanan termal bagi penghuni. Hal ini perlu disesuaikan dengan batas kenyamanan termal yang disarankan.

pencahayaan pada tanggal 28 Oktober pukul 14.11 - 18.30 maksimum sebesar 16373.33 Lux, pada tanggal 29 Oktober pukul 05.44 - 18.30 maksimum sebesar 36305.83 Lux dan pada tanggal 30 Oktober pukul 05.46 - 14.11 maksimum sebesar 4906.67 Lux. Tinggi rendahnya nilai pencahayaan diperoleh pada penelitian dikarenakan pada saat penelitian sensor pencahayaan terpapar sinar matahari langsung di siang hari, sehingga hasil yang diperoleh sangat besar nilainya.

Kondisi Temperatur bangunan dan udara luar

Setelah dilakukan penelitian berdasarkan data yang didapat, maka diperoleh kondisi bangunan, terlihat pada Gambar 7. Temperatur luar bangunan maksimum sebesar 34,08 °C, minimum 25,5 °C. Temperatur antara luar dan dalam bangunan maksimum sebesar 33,75 °C, minimum sebesar 25,5 °C. Temperatur dalam bangunan maksimum sebesar 33,5 °C, minimum sebesar 27,5 °C. Suhu bangunan diperoleh tinggi maksimum 34,08°C, 33,75°C, 33,5°C. Tinggi rendahnya suhu bangunan dan luar bangunan tergantung pada kondisi cuaca dan waktu pengambilan data penelitian. Peningkatan suhu terjadi pada pukul 06.00 - 14.00 dimana suhu bangunan dan luar bangunan semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena matahari terbit dan matahari berada langsung di atas permukaan bumi dan tegak lurus pada permukaan bumi sehingga pancaran radiasi matahari maksimal, jam 14.00 - 06.00 suhu udara menurun karena posisi matahari mulai terbenam dan pancaran panas dari radiasi matahari berkurang sehingga kondisi pada sore hingga malam hari yang semakin sejuk karena suhu udara di lingkungan rendah.

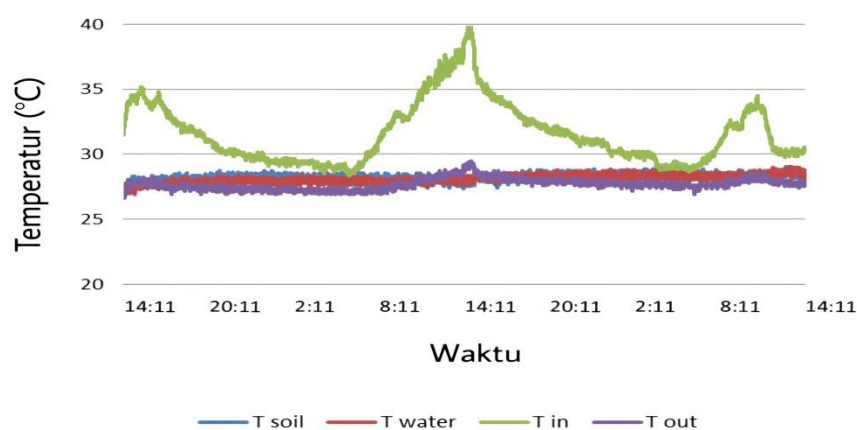


Gambar 7. Kondisi Temperatur bangunan dan udara luar

Perbedaan temperatur luar dan dalam bangunan mencapai rata-rata $1,62\text{ }^{\circ}\text{C}$, perbedaan ini yang dimana temperatur di dalam bangunan lebih tinggi di bandingkan temperatur udara luar. Karena beberapa faktor diantaranya penggunaan atap berbahan logam, atap tersebut dapat membuat bangunan atau ruangan di bawahnya menjadi lebih panas karena bahan logam mempunyai sifat mudah menyerap panas matahari, ventilasi udara yang kurang baik dan plafon yang rendah.

Kondisi Temperatur T_{soil} , T_{water} , T_{in} , T_{out} Eksperimen

Data penelitian diperoleh kondisi temperatur tanah, air, T_{in} , T_{out} terlihat pada Gambar 8 menunjukan kondisi perubahan temperatur pada alat penukar panas pada kecepatan udara $4,68\text{ m/s}$. T_{soil} rata-rata sebesar $28,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, T_{water} rata-rata sebesar $28,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, T_{in} rata-rata sebesar $31,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan T_{out} rata-rata sebesar $27,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan data hasil pengukuran alat penukar kalor udara air-tanah mampu menurunkan temperatur udara rata-rata sebesar $3,9\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Gambar 8. Perubahan Suhu pada Alat Penukar Panas

Pada temperatur tanah dengan kedalaman 1,5 meter diperoleh maksimal sebesar $29,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, minimal sebesar $26,75\text{ }^{\circ}\text{C}$. pada penelitian temperatur tanah cukup stabil selama penelitian, Naik turunnya suhu tanah tergantung dari banyaknya radiasi matahari yang diserap oleh permukaan tanah, suhu tanah pada siang dan malam hari sangat berbeda, pada siang hari tanah tidak sepanas udara luar, dan sebaliknya suhu tanah tidak sedingin udara luar pada malam hari.

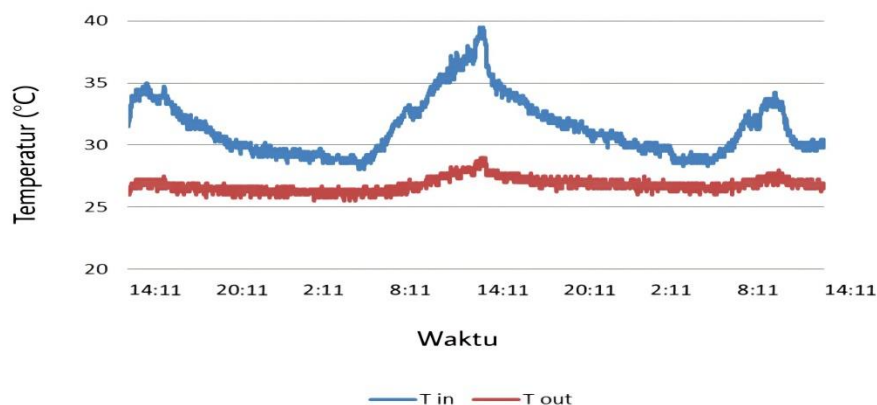
Pada temperatur air di peroleh maksimal sebesar 29,75 °C, minimal 26,25 °C pada penelitian temperatur air cukup stabil selama penelitian, naik turunnya temperatur air tersebut di pengaruhi oleh temperatur tanah dan permukaan tanah karena dimana air tersebut di letakan di dalam tabung dan di timbun didalam tanah.

Pada temperatur masuk (T_{in}) di peroleh maksimal T_{in} sebesar 39,5 °C dan minimal T_{in} sebesar 28 °C, pada tanggal 29 Oktober T_{in} mendapatkan nilai paling tinggi yaitu mencapai 39,5 °C hal ini di sebabkan oleh *blower*, karena terlalu lama penggunaan *blower* maka *blower* tersebut menimbulkan efek panas yang berlebih dan juga ada beberapa faktor lainnya seperti terkena radiasi matahari langsung pada siang hari.

Pada temperatur masuk (T_{out}) di peroleh sebesar maksimal sebesar 29 °C dan minimal sebesar 26,5 °C. pada penelitian 28 – 30 Oktober naik turunnya temperatur T_{out} tergantung suhu di ruang uji, dimana suhu tersebut berasal dari temperatur tanah dan air maka jika temperatur tanah dan air tinggi makan tempertur T_{out} juga akan tinggi begitupun sebaliknya jika temperature tanah dan air rendah makan temperature T_{out} akan rendah.

Kondisi T_{in} dan T_{out}

kondisi T_{in} dan T_{out} selama penelitian diperoleh seperti yang ditunjukkan pada [Gambar 9](#) menunjukkan besar penurunan suhu yang terjadi selama penelitian. Temperatur maksimal T_{in} sebesar 39,5 °C dan minimal T_{in} sebesar 28 °C. Temperatur T_{out} maksimal sebesar 29 °C dan minimal T_{out} sebesar 26,5 °C. Penurunan suhu yang dapat dicapai dengan alat penukar panas tanah-udara adalah antara 2 - 10 °C. Faktor yang paling penting selama pengujian adalah kecepatan udara yang masuk kedalam EAHE. Kecepatan udara yang di gunakan adalah 4,68 m/s.



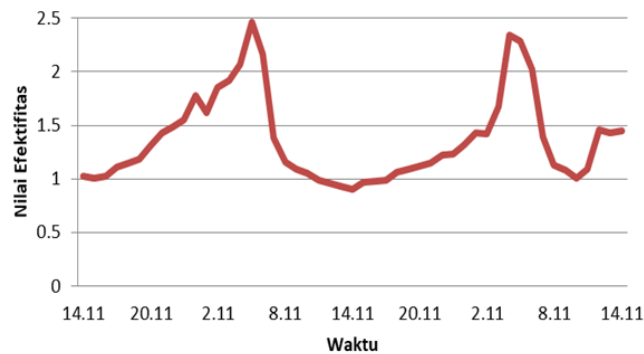
[Gambar 9.](#) Kondisi Temperatur T_{in} Dan T_{out}

Perbedaan suhu yang signifikan terjadi antara pukul 12.00 sampai 15.00. Hal ini disebabkan oleh faktor matahari yang berada tepat di atas permukaan bumi dan tegak lurus dengan permukaan bumi. Akibatnya pancaran radiasi sinar matahari dan efek panas yang di timbulkan oleh *blower* T_{in} sangat tinggi mencapai 39,5 °C. Perbedaan suhu terendah terjadi pada malam hari, karena posisi matahari terbenam sehingga tidak ada pancaran panas dari radiasi matahari dan keadaan pada malam hari kondisi lingkungan yang sejuk, sehingga suhu udara di lingkungan tersebut rendah dibandingkan kondisi pada sore hari, perbedaan suhu pada pagi hari dengan sore hari lebih tinggi pada sore hari. Hal ini terjadi karena panas pada sore hari masih tinggi.

Nilai Efektivitas Alat Penukar Kalor Secara Eksperimen

Perhitungan data eksperimen berdasarkan data yang diperoleh pada tanggal 28-30 Oktober 2022, efektifitas eksperimen ditunjukkan pada Gambar 10. Untuk menentukan efektifitas penukar panas eksperimen diperoleh dari persamaan 2.

$$\varepsilon = \frac{T_{in} - T_{out}}{T_{in} - T_{soil}} \quad (2)$$



Gambar 10. Nilai Efektivitas

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa efektifitas alat penukar kalor udara tanah pada kecepatan udara masuk 4,68 m/s. Nilai tertinggi dari efektifitas alat penukar kalor air tanah-udara sebesar 2,46 dan nilai terendah dari efektifitas alat penukar kalor air tanah-udara sebesar 0,9.

Tabel 3. Nilai Efektivitas

V_{udara} (m/s)	Statistik	Efektivitas (ε) Eksperimen
4,68	Maksimum	2,46
	Minimum	0,9

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Hasil penelitian alat penukar panas udara-air tanah sebagai pendingin pasif pada ventilasi bangunan pada tanggal 28 – 30 Oktober 2022 dapat menghasilkan performa cukup baik. Penurunan temperatur pada ruang uji mencapai 2 - 10°C.

Data penelitian menunjukkan bahwa nilai temperatur udara luar maksimum sebesar 34 °C dan nilai minimum sebesar 25,5 °C, nilai kelembaban udara maksimum 99,99 % dan nilai minimum sebesar 79,85 %, Untuk nilai pencahayaan nilai maksimum sebesar 36305.83 Lux dan nilai minimum sebesar 0 Lux, temperatur tanah T_{soil} rata-rata 28,2°C, temperatur air T_{water} rata-rata 28,1°C, temperatur masuk T_{in} rata-rata 31,6°C dan temperatur keluaran T_{out} rata-rata 27,7°C. Berdasarkan data pengujian, didapatkan bahwa alat penukar panas air tanah-udara dapat menurunkan temperatur udara rata-rata sebesar 3,9°C pada kecepatan udara 4,68 m/s. Nilai efektifitas alat penukar kalor udara tanah pada kecepatan udara masuk 4,68 m/s. Nilai maksimum sebesar 2,46 dan nilai minimum sebesar 0,9.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan untuk penelitian selanjutnya bisa menggunakan *Cyclone ventilator turbin* untuk mengalirkan udara luar menuju ruang uji karena menggunakan *blower* dapat menimbulkan efek panas yang berlebihan.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Terang UHSG, T. B. 2021. Performasi Pipa Bersirip Alat Penukar Kalor Udara-Tanah Menggunakan Siklus Terbuka. *Jurnal Sistem Teknik Industri (JSTI)*, vol.23, No.1, 97-110.
- [2] Terang UHS Ginting Manika, T. B. 2020. Performansi Alat Penukar Kalor Udara-Tanah Menggunakan Siklus Tertutup di Kota Medan. *Jurnal Sistem Teknik Industri (JSTI)* Vol.22, No. 1, 2020, 22, 63-76.
- [3] Lubis, K. 2015. Aplikasi Suhu Dan Aliran Panas Tanah. *Fakultas Pertanian Universitas Sumatra Utara, Medan*.
- [4] Diane Deibij Pioh, L. R. 2013. "Analisis Suhu Tanah Di Kawasan Wisata Alam Danau Linow Kota Tomohon Sulawesi-Utara". *Journal of Indonesian Tourism and Development Studies*, Vol.1, No.2, April, 2013, 1, 62-67.
- [5] Belatrache, D. 2016. "Numerical Analysis of Earth Air Heat Exchanger at Operating Conditions in Arid Climates".
- [6] Lapisa, R., K, A., Martias, Purwantono, Wakhinuddin, Suparno, Romani, Z. (2020). Analisis Pengaruh Termal Bahan Atap Terhadap Suhu Ruangan dan Kenyamanan Termal. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 10 (5), 2068. doi: <https://doi.org/10.18517/ijaseit.10.5.10565>
- [7] Tulus Burhanudin Sitorusa, S. A. 2022. Efektivitas Sistem Gabungan Penukar Kalor Udara-Tanah dengan Kolektor Surya untuk Pendinginan Ruangan di Kota Medan. *Jurnal Tekno Sains*, 128-140.
- [8] Abedi, M., Jazizadeh, F., Huang, B., Battaglia, F. 2018. "Sistem HVAC Cerdas – Arah Aliran Udara yang Dapat Disesuaikan. *Catatan Kuliah Ilmu Komputer*," 193–209. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-91638-5_10
- [9] Ahmed, T., Kumar, P., Mottet, L. 2021. "Ventilasi alami di iklim hangat: Tantangan kenyamanan termal, ketahanan gelombang panas, dan kualitas udara dalam ruangan. *Ulasan Energi Terbarukan dan Berkelanjutan*", 138, 110669. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110669>
- [10] Lapisa, R., Abadie, M., Bozonnet, E. et al. 2014. Analisis numerik efek pemodelan stratifikasi termal terhadap kenyamanan untuk kasus bangunan bertingkat rendah komersial. Dalam: *Konferensi Internasional ke-13 tentang Kualitas dan Iklim Udara Dalam Ruangan. Hong-Kong: Masyarakat Internasional Kualitas Udara dan Iklim Dalam Ruangan (ISIAQ)*.
- [11] Muhammad, Huda dan Prianto, Eddy 2016, *Kenyamanan Termal taman Srigunting, Laporan Seminar DAFT Undip*
- [12] Badan Pusat Statistik Kota Padang. Tersedia di: <https://padangkota.bps.go.id/indicator/153/371/1/suhu-udara.html>
- [13] lapisa, r., krismadinata , arwizet, & martias. 2018. "Pengaruh Inersia Termal Tanah Terhadap Kenyamanan Ruangan". *INVOTEK* , 99-106.
- [14] Estrada, E., Labat, M., Lorente, S., & Rocha, L. A. O. 2018. The impact of latent heat exchanges on the desigh of earth air heat exchangers. *Applied Thermal Engineering*, 129, 306-317. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.10.007>
- [15] Lapisa, R., Kurniawan, A., Jasman, J., Yuvenda, D., Putra, R. P., Waskito, W., Karudin, A., Krismadinata, K. (2023). Experimental investigation of water to air heat exchanger performance as passive cooling strategy on ventilation system in tropical region. *EUREKA: Physics and Engineering*, 1, 32–41. doi:<https://doi.org/10.21303/2461-4262.2023.002591>