

## EFEKTIVITAS SISTEM GABUNGAN PENUKAR KALOR-UDARA TANAH DENGAN KOLEKTOR SURYA UNTUK PENDINGINAN RUANGAN DI KOTA MEDAN

### EFFECTIVENESS OF COMBINED EARTH-AIR HEAT EXCHANGER SYSTEM WITH SOLAR COLLECTOR FOR ROOM COOLING IN MEDAN CITY

*Tulus Burhanuddin Sitorus\**

Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara  
Pusat Energi Berkelanjutan dan Biomaterial, Universitas Sumatera Utara

*Syahrul Abda*

Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

Submitted:14-11-2020; Revised:05-11-2021; Accepted:09-11-2021

#### ABSTRACT

Energy is one of the main things in a country's economic growth, but saving energy is one of the main challenges in the world today. In developing countries such as Indonesia, the energy sector is considered a crucial sector, because consumption demand increases compared to production. Therefore, to reduce energy consumption it is necessary to save energy. Earth-air heat exchanger cooling systems are one of them. The research objective was to determine the effectiveness performance of the EAHE system on changes in room temperature according to weather conditions in Medan city. The implication of this research is to reduce the consumption of electricity or fuel oil and environmental pollution. The test room has dimensions of 200 cm x 200 cm x 200 cm. Testing using a flat plate type solar collector to help the process of air movement by taking advantage of differences in air temperature. The testing process starts at 08.00 WIB to 17.00 WIB for nine hours everyday. The measurement results show that various weather conditions include radiation intensity, ambient temperature and humidity. During the test, the radiation intensity ranged from 38.10-892.12 W/m<sup>2</sup>, the variation in ambient temperature from 24.65-35.29°C and the average air humidity 68.93%. The experimental data showed that the fluctuation of indoor air temperature ranged from 23.01 to 31.84°C and the average room temperature 27.83°C. This study resulted in an average effectiveness value of the EAHE system of 51.49%. According to the result of the statistical studies, the weather conditions-the effectiveness of the EAHE system by 51,56%.

**Keywords:** EAHE; solar collector; cooling system; save energy; effectiveness.

#### ABSTRAK

Energi merupakan salah satu hal utama dalam pertumbuhan ekonomi suatu negara, namun penghematan energi merupakan salah satu tantangan utama dunia saat ini. Di negara berkembang seperti Indonesia, sektor energi dianggap sebagai sektor yang krusial, karena permintaan konsumsi meningkat dibandingkan dengan produksi. Oleh karena itu untuk mengurangi konsumsi energi perlu dilakukan

\* Corresponding author: [tulus.burhanuddin@usu.ac.id](mailto:tulus.burhanuddin@usu.ac.id)

Copyright ©2022 THE AUTHOR(S). This article is distributed under a Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International license. Jurnal Teknosains is published by the Graduate School of Universitas Gadjah Mada.

penghematan energi. Salah satunya adalah sistem pendingin Earth-Air Heat Exchanger (EAHE). Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui efektifitas dari sistem EAHE terhadap perubahan temperatur ruangan sesuai kondisi cuaca di kota Medan. Sedangkan implikasi dari penelitian ini adalah mengurangi konsumsi listrik atau bahan bakar minyak serta polusi lingkungan. Ruangan uji memiliki dimensi 200 cm x 200 cm x 200 cm. Pengujian menggunakan kolektor surya tipe plat datar untuk membantu proses pergerakan udara dengan memanfaatkan perbedaan temperatur udara. Proses pengujian dimulai pukul 08.00 WIB hingga 17.00 WIB selama sembilan jam setiap hari. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa berbagai kondisi cuaca meliputi intensitas radiasi, temperatur lingkungan, dan kelembaban udara. Selama pengujian intensitas radiasi berkisar antara 38,10-892,12 W/m<sup>2</sup>, variasi temperatur lingkungan 24,65-35,29°C dan kelembaban udara rata-rata 68,93%. Data pengujian menunjukkan bahwa fluktuasi temperatur udara di dalam ruangan berkisar antara 23,01-31,84°C dan suhu ruangan rata-rata 27,83°C. Penelitian ini menghasilkan nilai efektifitas rata-rata sistem EAHE sebesar 51,49%. Berdasarkan analisis studi statistik, pengaruh kondisi cuaca terhadap efektifitas sistem gabungan EAHE adalah 51,56%.

**Keywords:** EAHE; kolektor surya; sistem pendinginan; hemat energi; efektifitas.

## **PENGANTAR**

Energi merupakan salah satu hal utama dalam pertumbuhan ekonomi suatu negara tetapi penghematan energi merupakan salah satu tantangan utama dunia saat ini. Sasaran peneliti saat ini adalah untuk mengurangi penggunaan energi fosil dan mendukung pemanfaatan energi terbarukan. Dari total kebutuhan energi dunia, sumber energi terbarukan memasok hingga 14% diantaranya biomassa, energi panas bumi, energi angin, tenaga air, dan energi surya (Bordoloi dkk., 2018).

Di negara berkembang, sektor energi dianggap sebagai sektor yang sangat penting, karena permintaan konsumsi meningkat dibanding dengan produksinya. Konsumsi energi dalam gedung telah meningkat secara signifikan dalam beberapa dekade terakhir. Untuk meningkatkan penghematan energi

pada gedung, direkomendasikan untuk menggunakan audit energi pada gedung selama konstruksi. Pemerintah negara berkembang telah memulai kampanye dan mengamandemen Undang-Undang yang ketat terhadap konsumsi energi fosil dan pengembangan energi terbarukan. Begitu juga dengan negara Indonesia yang mulai merespon pengembangan dan pemanfaatan energi terbarukan melalui lembaga Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi-Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.

Beberapa negara di dunia telah melakukan upaya untuk penghematan energi (Cuny dkk., 2018). Diantaranya, negara-negara Eropa telah berkomitmen untuk mengurangi konsumsi energi primer tahunan sebesar 20% (Li dkk., 2019). Kemudian kementerian lingkungan hidup Jepang (MOE) meluncurkan kampanye yang mendorong masyarakat untuk mengenakan pakaian yang lebih ringan dan bagi perusahaan untuk mengatur sistem pengkondisian udara pada temperatur 28°C (Industries Daikin Business, 2015).

Salah satu sistem pendinginan yang memanfaatkan energi radiasi matahari adalah penukar panas udara-tanah atau *earth-air heat exchanger* (EAHE) tipe hibrida dengan kolektor surya (Chiesa, 2017). Keunikan dari sistem ini adalah menggabungkan potensi energi surya dan energi geotermal untuk sistem pengkondisian udara ruangan (Agrawal dkk., 2018). Kondisi wilayah Indonesia yang terletak pada jalur khatulistiwa membuat sinar radiasi matahari memancar terus sepanjang tahun (Sitorus dkk., 2016). Situasi ini menjadi peluang untuk memanfaatkan potensi dari sumber energi matahari tersebut. Apabila dikelola dengan baik maka energi matahari menjadi sumber energi alternatif yang sangat besar serta tidak menghasilkan polusi dan tidak pernah habis. Aplikasi dari sistem pendinginan pasif alami ini dapat mengurangi ketergantungan bangunan rumah dan kantor terhadap konsumsi energi listrik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektifitas dari sistem gabungan alat penukar kalor udara-tanah dengan kolektor surya

untuk proses pendinginan suatu ruangan di kota Medan. Umumnya sistem penukar kalor udara-tanah untuk pendinginan ruangan menggunakan alat tambahan *blower* untuk meningkatkan kecepatan udara melalui pipa masuk (Brum dkk., 2019). Namun hal ini memiliki kelemahan karena ketergantungan terhadap minyak untuk bahan bakar motor listrik sebagai penggerak *blower*. Penelitian sistem penukar kalor udara-tanah yang dilakukan tanpa menggunakan energi listrik atau bahan bakar minyak sehingga tidak menimbulkan polusi lingkungan. Dengan kata lain, sistem penukar kalor udara-tanah yang biasanya menggunakan *blower* dengan penggerak motor listrik ditiadakan dan digantikan oleh kolektor surya tipe plat datar yang beroperasi secara alami. Hal inilah yang menjadi latar belakang dan sekaligus menjadi *research gap* dari sistem penukar kalor udara-tanah selama ini untuk dikaji pada penelitian ini.

## METODE

Metode yang dibahas pada penelitian ini terdiri dari beberapa struktur yang terdiri dari uraian mengenai sistem penukar kalor udara-tanah, kondisi kenyamanan termal, persamaan yang digunakan pada sistem kinerja penukar kalor udara-tanah, metode pengujian yang dilakukan, alat uji dan alat ukur serta skema eksperimental yang dilakukan di lokasi pengujian.

Sistem penukar kalor udara-tanah merupakan teknologi pasif baru yang efisien untuk menghemat energi dan telah digunakan oleh banyak negara untuk mencapai kenyamanan termal pada suatu bangunan. Dapat dinyatakan bahwa sistem penukar kalor udara-tanah adalah teknik non-konvensional yang telah diaplikasikan pada bangunan tempat tinggal dengan sistem pendingin udara, rumah kaca, maupun bangunan komersial yang memanfaatkan temperatur bawah tanah dari bumi. Pemanfaatan terowongan udara bawah tanah diaplikasikan untuk mendinginkan dan memanaskan bangunan oleh seorang arsitek Iran pada 3000 SM (Ozgener, 2011). Selama revolusi industri, teknik pendinginan secara

alami ini memudar seiring waktu. Karena cadangan energi dunia semakin menipis, pemerintah dari berbagai negara mengambil inisiatif untuk mempromosikan teknik energi hijau dan salah satu upaya yang dilakukan adalah sistem penukar kalor udara-tanah. Sistem penukar kalor udara-tanah sangat dipengaruhi oleh temperatur lingkungan dari setiap lokasi. Sistem ini dapat digunakan untuk pendinginan dan pemanasan selama musim panas dan musim dingin. Selama musim dingin, temperatur tanah di bawah permukaan tanah lebih tinggi dari temperatur lingkungan dan terjadi sebaliknya selama musim panas (Soni dkk., 2015).

Dalam aplikasinya, sistem penukar kalor udara-tanah dirancang berdasarkan tiga bentuk konfigurasi yaitu sistem terbuka, sistem tertutup dan sistem hibrida (Chaturvedi Ashish Kumar & Bartaria, 2015). Pada sistem terbuka, udara lingkungan dilewatkan melalui pipa yang ditanam untuk pra-pemanasan atau pra-pendinginan udara. Kemudian udara melewati sistem konvensional untuk mendinginkan atau menghangatkan sebelum memasuki ruang dan selanjutnya udara kemudian dilewatkan melalui ventilasi. Sedangkan pada sistem tertutup, udara yang dihisap dari saluran masuk mengalir melalui rangkaian pipa yang ditanam di bawah tanah dan mengekstrak panas dari tanah. Pada sistem penukar kalor ini, rangkaian pipa dapat disusun secara vertikal atau horizontal. Untuk konfigurasi sistem hibrida, penukar kalor udara-tanah digabungkan dengan perangkat pemanas atau pendingin lainnya seperti pengkondisian udara (*air conditioning*), pemanas, cerobong surya, maupun pemanas udara surya. Kombinasi dari sistem gabungan ini dapat meningkatkan kenyamanan dan efisiensi sistem penukar kalor udara-tanah tersebut.

Kenyamanan termal merupakan suatu kondisi udara yang nyaman agar manusia dapat merasakan kepuasan terhadap lingkungan termal. Untuk mencapai hal tersebut maka sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada ruangan, bangunan kantor dan rumah, umumnya menggunakan salah satu alat untuk memperoleh kenyamanan termal tersebut.

Tabel 1 menampilkan kriteria kenyamanan termal terhadap manusia untuk daerah tropis berdasarkan Standar ASHRAE (ASHRAE, 2013).

**Tabel 1.**  
Kriteria temperatur kenyamanan untuk manusia

| Kategori       | Temperatur ruangan |
|----------------|--------------------|
| Sejuk nyaman   | 20,50°C - 22,80°C  |
| Nyaman optimal | 22,80°C - 25,80°C  |
| Hangat nyaman  | 25,80°C - 27,10°C  |

(Sumber, Peneliti)

Perlu diketahui bahwa negara Indonesia memiliki temperatur dan kelembaban udara yang lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur dan kelembaban udara di dalam ruangan sepanjang tahun. Umumnya daerah di Indonesia yang memiliki temperatur lingkungan berkisar 20-40°C dan kelembaban udara 60-80% sepanjang tahun (Standar Nasional Indonesia, 2001). Kondisi inilah menjadi salah satu pertimbangan untuk mengetahui kinerja sistem pendinginan penukar kalor udara-tanah di kota Medan.

Akan tetapi untuk memperoleh kenyamanan termal di atas maka membutuhkan konsumsi energi listrik yang cukup besar. Oleh karena itu untuk mengurangi konsumsi energi secara masif maka perlu penghematan energi. Salah satu upaya alternatif untuk penghematan energi adalah dengan membuat sistem pendinginan atau pengkondisian udara yang tidak membutuhkan energi listrik atau energi mekanik sebagai penggerakannya seperti penukar kalor udara-tanah (Li dkk., 2014). Sistem pendingin penukar kalor udara-tanah merupakan metode pengkondisian udara ruangan melalui proses perpindahan panas untuk menyeimbangkan temperatur secara alami agar dapat mencapai kenyamanan termal (Wang dkk., 2018). Penentuan nilai efektivitas eksperimental dari sistem suatu sistem penukar kalor udara-tanah dapat menggunakan persamaan (Estrada dkk., 2018):

$$\varepsilon = \frac{T_{um} - T_{uk}}{T_{um} - T_{tanah}} \dots\dots\dots(1)$$

dimana  $T_{um}$  adalah temperatur udara masuk ke pipa penukar kalor dan  $T_{uk}$  merupakan temperatur udara keluar dari pipa menuju ke ruangan. Untuk menentukan temperatur udara keluar pada sistem penukar kalor udara-tanah maka menggunakan persamaan:

$$T_{uk} = T_{um} - (T_{um} - T_{tanah}) \times \varepsilon \dots\dots\dots(2)$$

Untuk menentukan kapasitas pendinginan/pemanasan dari sistem penukar kalor udara-tanah maka menggunakan persamaan:

$$Q = \dot{m}_a c_a (T_{um} - T_{uk}) \dots\dots\dots(3)$$

dimana  $c_a$  adalah panas jenis udara (kJ/kg. K). Sedangkan untuk menentukan laju aliran massa udara dapat menggunakan persamaan:

$$\dot{m}_a = \frac{\pi}{4} \times D_i^2 \times \rho \times v \dots\dots\dots(4)$$

dimana  $D_i$  adalah diameter dalam pipa penukar kalor (m),  $\rho$  adalah massa jenis udara (kg/m<sup>3</sup>) dan  $v$  adalah kecepatan udara di dalam pipa penukar kalor (m/s). Pada pengujian ini maka fungsi *blower* digantikan oleh kolektor surya tipe plat datar untuk membantu proses pergerakan aliran udara.

Keuntungan utama dari kolektor surya tipe plat datar adalah dengan memanfaatkan kedua komponen radiasi matahari yaitu melalui sorotan langsung dan sebaran serta desainnya yang sederhana dengan sedikit memerlukan perawatan dan biaya pembuatan yang murah (Maerefat & Haghghi, 2010). Umumnya pemanfaatan kolektor tipe plat datar untuk memanaskan ruangan di dalam rumah, pengkondisian udara, dan proses-proses pemanasan dalam industri (Ozgener, 2011).

Prinsip kerja dari kolektor surya tipe plat datar adalah dengan menyerap energi radiasi matahari dan memindahkan radiasi matahari tersebut ke udara yang terdapat di dalam kolektor. Radiasi matahari yang jatuh pada kaca penutup sebagian akan mengalami pemantulan, sebagian akan mengalami

penyerapan, dan sebagian lagi mengalami proses penerusan ke permukaan plat kolektor. Kehilangan kalor total pada komponen kolektor surya tipe plat datar dapat menggunakan persamaan:

$$Q_{total} = Q_{dinding} + Q_{bawah} + Q_{atas} + Q_{radiasi} \dots \dots \dots (5)$$

dimana  $Q_{dinding}$  adalah kerugian kalor pada sisi dinding kolektor (kJ),  $Q_{bawah}$  adalah kerugian kalor pada sisi bawah kolektor (kJ),  $Q_{atas}$  adalah kerugian kalor pada sisi atas kolektor (kJ) dan  $Q_{radiasi}$  adalah kerugian kalor pada sisi atas kolektor akibat radiasi (kJ).

Sedangkan penentuan efisiensi kolektor surya dapat menggunakan persamaan (Sitorus, 2018):

$$\eta = \frac{Q_b}{I \cdot A} \dots \dots \dots (6)$$

dimana  $I$  adalah intensitas radiasi matahari yang menimpa permukaan kolektor ( $W/m^2$ ) dan  $A$  adalah luas permukaan kolektor ( $m^2$ ). Untuk menentukan energi kalor terpakai dapat menggunakan persamaan:

$$Q_b = F' \times (Q_{masuk} - Q_{total}) \dots \dots \dots (7)$$

$$Q_{masuk} = I \cdot A \cdot \tau \cdot \alpha \dots \dots \dots (8)$$

Nilai  $\tau$  menyatakan besarnya absorptivitas plat kolektor yang berwarna hitam sebesar 0,98 (Duffie dkk., 1985) sedangkan faktor efisiensi kolektor ( $F'$ ) untuk kolektor tipe plat datar adalah 90% (Sitorus & Abda, 2020).

Metode penelitian menggunakan teknik pengumpulan data hasil dari beberapa titik pengukuran berdasarkan pengujian eksperimental. Komponen sistem pendingin ini terdiri dari alat penukar kalor, ruangan uji dan kolektor surya. Sistem penukar kalor udara-tanah memiliki diameter pipa 4 inci dengan jumlah laluan 8 serta kedalaman pipa dari permukaan tanah 2 meter. Panjang keseluruhan pipa penukar kalor udara-tanah 26,5 meter. Tabel 2 menampilkan dimensi dan jenis material untuk ruangan uji yang digunakan pada penelitian ini.

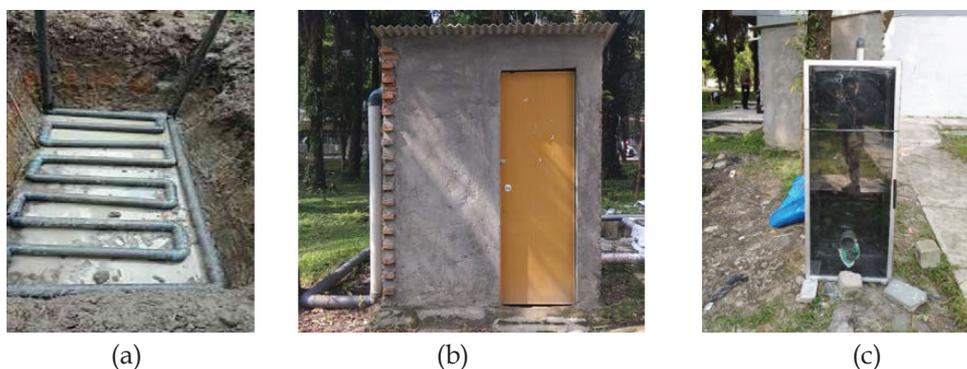
**Tabel 2.**  
Dimensi ruangan uji

| No. | Komponen                     | Dimensi                | Bahan                                    |
|-----|------------------------------|------------------------|--|
| 1   | Dimensi ruangan uji          | 2 m × 2 m × 2 m        |  |
| 2   | Luas penampang atap          | 2 m × 2 m              | Semen asbes                              |
| 3   | Luas penampang dinding       | 2 m × 2 m              | Batu bata merah dengan plester semen     |
| 4   | Volume batu bata merah       | 4,5 cm × 10 cm × 19 cm | Batu bata biasa, tanah liat yang dibakar |
| 5   | Tebal plester                | 1,5 cm                 | Plester semen dengan campuran pasir      |
| 6   | Luas penampang saluran udara | 0,0081 m <sup>2</sup>  | <i>Polyvinyl chloride</i> (PVC)          |

(Sumber: Peneliti)

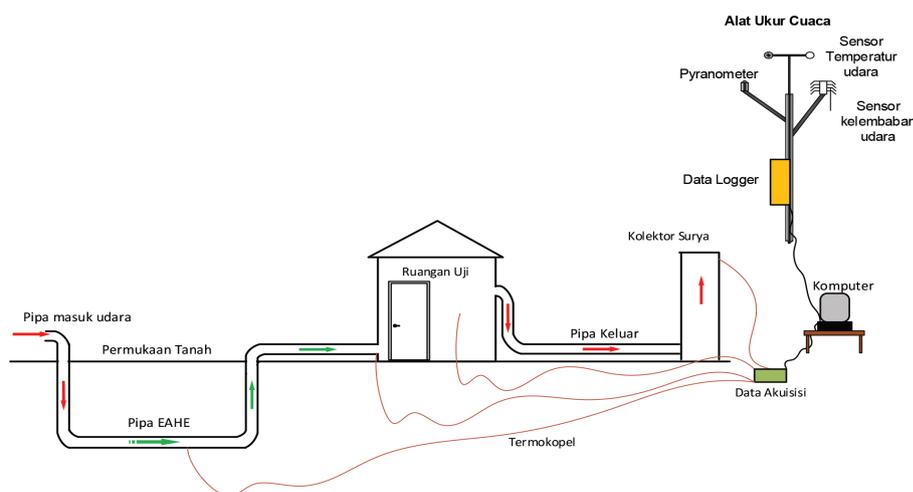
Pengujian ini menggunakan kolektor surya tipe plat datar dengan ukuran 1,5 m × 0,6 m × 0,2 m. Kolektor surya tersebut berada pada lokasi yang terpapar sinar matahari agar efek ventilasi lebih maksimal. Posisi ruangan uji dan alat penukar kalor udara-tanah berada pada tempat yang teduh untuk mengurangi dampak beban panas dari sinar matahari terhadap proses pendinginan. Posisi pintu ruangan menghadap ke arah selatan, jalur masuk udara

terletak di bagian timur ruangan, dan jalur keluar udara terletak di bagian barat ruangan serta bagian belakang ruangan mengarah ke utara. Gambar 1 menampilkan foto komponen alat uji yaitu alat penukar kalor, ruangan uji dan kolektor surya pada yang digunakan penelitian ini. Gambar 2 menunjukkan skema eksperimental yang diperoleh dari kondisi di lokasi saat pengujian.



**Gambar 1.**

Komponen alat uji yang digunakan  
(sumber: foto komponen di lokasi pengujian)  
(a.) Penukar kalor; (b.) Ruangan uji; (c.) Kolektor uji  
(Sumber: Peneliti)



**Gambar 2.**

Skema eksperimental  
(Sumber: Peneliti)

Data akuisisi *cole parmer* menghubungkan komponen sistem pendingin penukar kalor udara-tanah melalui kabel termokopel tipe J dengan akurasi ketelitian  $\pm 0,75\%$ . Titik-titik pengukuran melekat pada alat penukar kalor udara-tanah, ruangan uji dan kolektor surya. Pemasangan alat ukur cuaca HOBOS *station* di lokasi pengujian untuk merekam kondisi cuaca yang meliputi intensitas radiasi matahari dengan *pyranometer* (akurasi  $\pm 5\%$ ) dan temperatur serta kelembaban udara dengan T (akurasi  $\pm 0,2^\circ\text{C}$ ) dan RH *smart sensor* (akurasi  $\pm 2,5\%$ ). Pengukuran kecepatan aliran udara di dalam pipa menggunakan alat ukur *flow meter* dengan akurasi  $\pm 0,1\%$ . Pelaksanaan proses pengukuran data untuk setiap menit di daerah

kota Medan pada bulan Juli 2020. Pemasangan pipa PVC yang berasal dari ruangan uji sebagai saluran tempat udara mengalir pada sisi masuk kolektor surya. Pengecatan permukaan kolektor surya dengan warna hitam agar proses penyerapan panas menjadi lebih optimal tanpa menimbulkan efek radiasi pantulan ke atmosfer.

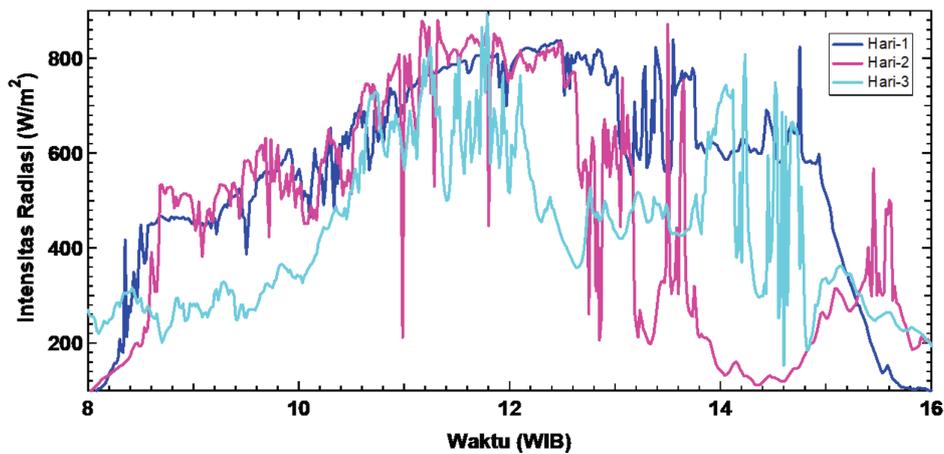
## HASIL DAN PEMBAHASAN Kondisi Cuaca

Proses identifikasi kelayakan teknis sebelum pengembangan aktual dari sistem sistem penukar kalor udara-tanah adalah dengan mengamati data cuaca dari lokasi yaitu temperatur udara, intensitas radiasi

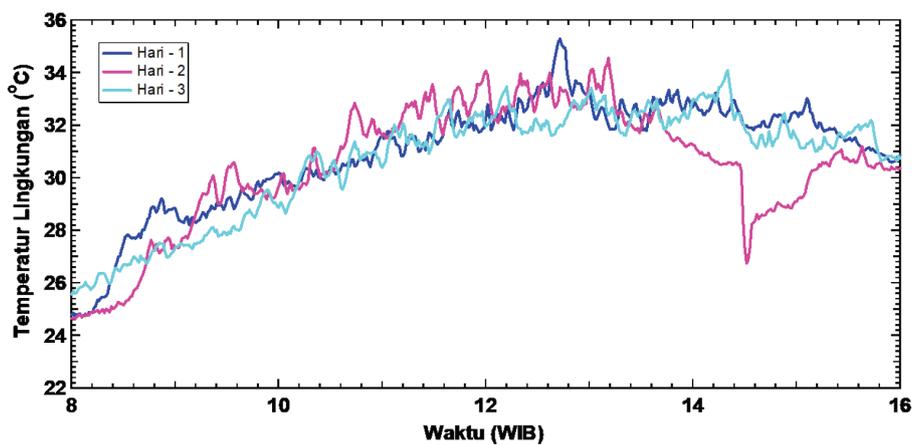
matahari dan kelembaban udara. Pelaksanaan pengujian selama 9 jam setiap hari di lokasi yang mengalami paparan radiasi matahari mulai dari pukul 08.00 WIB hingga pukul 17.00 WIB. Pengukuran kondisi cuaca meliputi intensitas radiasi, temperatur lingkungan dan kelembaban udara. Data hasil pengukuran menunjukkan bahwa kondisi radiasi surya maksimum terjadi pada pukul 11.51-13.31 WIB dan temperatur udara maksimum terjadi pada pukul 12.05-13.47 WIB.

Gambar 3 menampilkan kondisi intensitas radiasi surya selama pengujian. Tampak bahwa intensitas radiasi hasil pengukuran memiliki pola yang sama walaupun memiliki fluktuasi

setiap saat. Besarnya nilai intensitas radiasi surya maksimum adalah  $892.12 \text{ W/m}^2$  yang terjadi pada hari keempat. Sedangkan intensitas radiasi rata-rata selama pengukuran adalah  $427,65 \text{ W/m}^2$ . Gambar 4 menunjukkan kondisi temperatur udara selama proses pengujian. Besarnya temperatur lingkungan berkisar dari  $24,65^\circ\text{C}$  hingga  $35,29^\circ\text{C}$  dengan temperatur lingkungan rata-rata  $30,53^\circ\text{C}$ . Kelembaban udara rata-rata selama proses pengujian berkisar  $68,93\%$ . Kondisi intensitas radiasi dan temperatur lingkungan pada gambar 3 dan gambar 4 diperoleh dari hasil pengukuran dengan alat ukur cuaca HOBOS station yang dipasang di lokasi pengujian.



Gambar 3.  
Intensitas radiasi surya hasil pengukuran selama pengujian  
(Sumber: Peneliti)

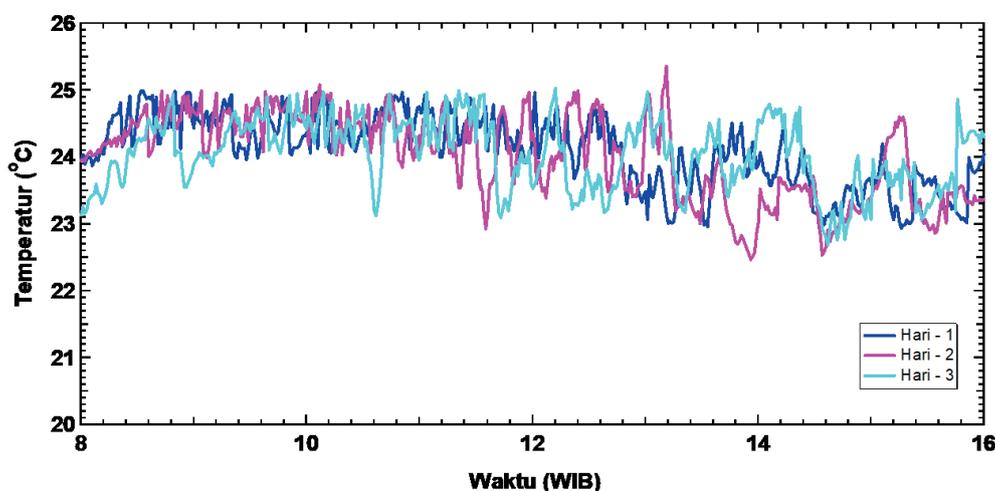


Gambar 4.  
Temperatur lingkungan hasil pengukuran selama pengujian  
(Sumber: Peneliti)

### Performansi Sistem Gabungan Penukar Kalor Udara-Tanah

Penjelasan mengenai kinerja dari sistem penukar kalor udara-tanah dengan kolektor surya adalah sebagai berikut. Pengujian ini melakukan pengukuran terhadap temperatur tanah, temperatur ruangan, temperatur permukaan kolektor dan kecepatan udara di dalam pipa. Gambar 5 menampilkan hasil pengukuran terhadap distribusi temperatur tanah di lokasi pengujian.

Pengukuran temperatur tanah dengan memasukkan sensor termokopel tipe-J dengan akurasi  $\pm 0,75\%$  ke dalam tanah sejauh dua meter di lokasi pipa penukar kalor. Pelaksanaan proses perekaman data temperatur tanah untuk setiap menit dari pukul 08.00-17.00 WIB. Data temperatur tanah selama pengujian berkisar diantara 22,24-25,36°C. Tampak bahwa pengaruh kondisi cuaca kurang signifikan terhadap temperatur tanah dengan kedalaman titik pengukuran berkisar dua meter dari permukaan tanah.



Gambar 5.

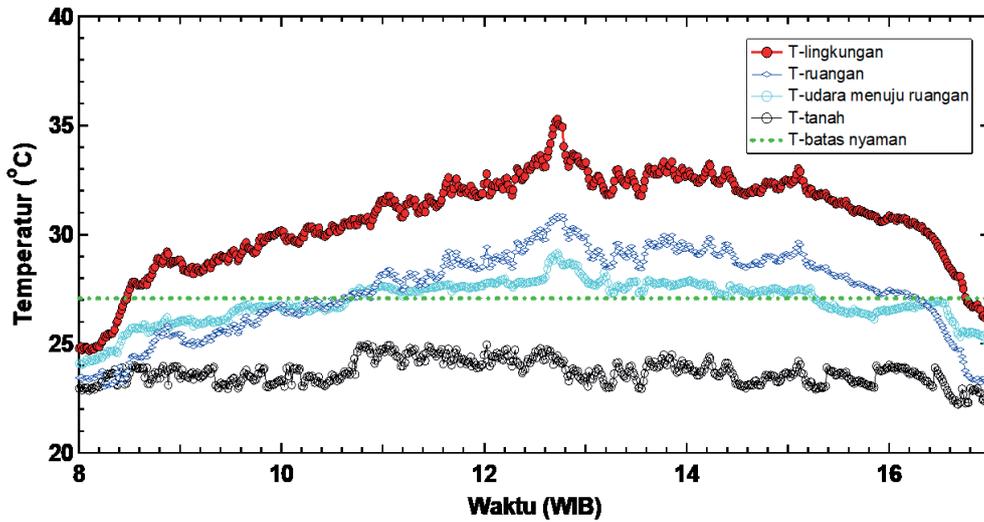
Kondisi temperatur tanah selama pengujian  
(Sumber: Peneliti)

Gambar 6 menampilkan perubahan temperatur di dalam dan di luar ruangan uji yang direpresentasikan pada hari pertama. Proses pengukuran temperatur mulai pukul 08.00 WIB pagi hingga pukul 17.00 WIB sore hari. Tampak bahwa distribusi temperatur ruangan memiliki pola yang hampir sama dengan perubahan temperatur lingkungan. Hal ini disebabkan temperatur udara yang masuk ke pipa penukar kalor udara-tanah adalah sama dengan temperatur lingkungan, karena pipa udara masuk ke penukar kalor berada pada permukaan tanah. Fluktuasi temperatur ruangan berkisar dari 23,01°C hingga 31,84°C dan temperatur rata-rata ruangan adalah 27,83°C selama pengujian.

Selanjutnya, berdasarkan data pengukuran, temperatur lingkungan berkisar dari 24,65°C

hingga 35,29°C dan temperatur rata-rata 30,53°C. Proses pendinginan terjadi saat udara yang mengalir dari pipa masuk ke penukar kalor hingga menuju ruangan uji. Selama udara mengalir di dalam pipa maka terjadi proses perpindahan panas konduksi dari tanah terhadap udara di dalam pipa. Nilai temperatur tanah selama pengukuran berkisar dari 22,24-25,36°C dengan temperatur rata-rata 23,83°C.

Udara yang keluar dari pipa penukar kalor menuju ruangan mengalami proses konveksi alamiah. Hal ini membuat terjadinya proses perubahan temperatur ruangan secara perlahan. Dengan membandingkan terhadap kondisi temperatur lingkungan maka proses penurunan temperatur ruangan rata-rata yang terjadi berkisar dari 1,86°C hingga 3,27°C selama pengujian.

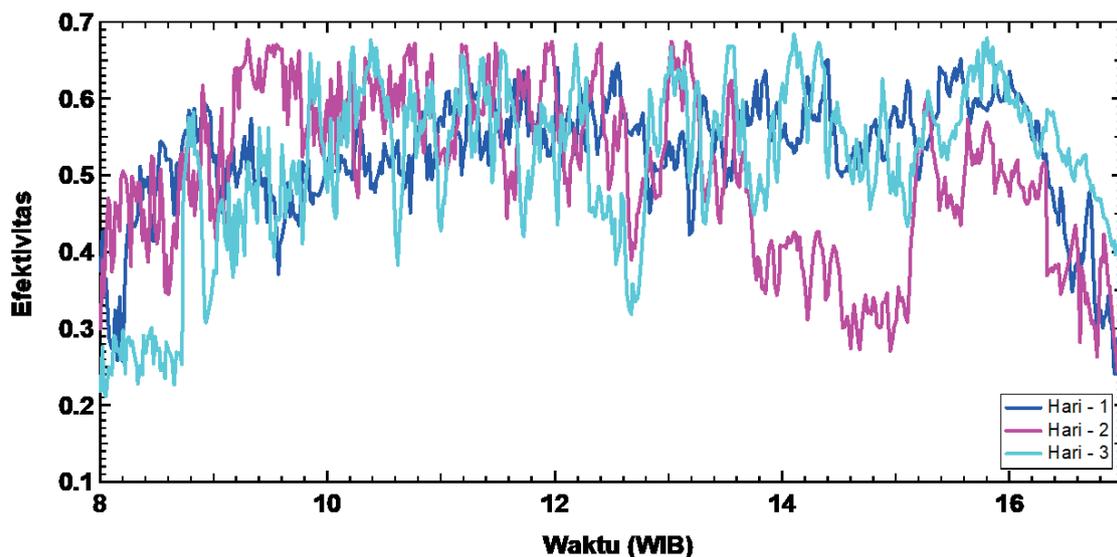


Gambar 6.  
Perubahan Temperatur di Dalam dan Luar Ruangan Pada Hari Pertama  
(Sumber: Peneliti)

Kinerja dari pengujian penukar kalor udara-tanah dapat diketahui dengan menghitung parameter efektivitas selama proses pengujian. Secara eksperimental, nilai efektivitas penukar kalor udara-tanah dipengaruhi oleh beberapa variabel seperti temperatur udara masuk ke pipa penukar kalor, temperatur udara keluar dari penukar kalor menuju ruangan uji dan temperatur tanah. Nilai temperatur udara pada pipa masuk penukar kalor cukup berperan karena perbedaan temperatur mempengaruhi

laju perpindahan panas secara konduksi antara udara dan tanah.

Tampak bahwa peningkatan temperatur udara masuk turut mempengaruhi peningkatan temperatur udara keluar pipa penukar kalor menuju ruangan uji. Temperatur udara masuk pipa penukar kalor bervariasi dari 24,65°C hingga 35,29°C, temperatur udara keluar pipa penukar kalor menuju ruangan bervariasi dari 24,06°C hingga 31,84°C untuk panjang pipa penukar kalor 26,5 m.



Gambar 7.  
Efektivitas Sistem Gabungan Penukar Kalor Udara-Tanah Selama Pengujian  
(Sumber: Peneliti)

Gambar 7 menampilkan data eksperimental mengenai kondisi efektivitas penukar kalor selama pengujian. Tampak bahwa nilai efektivitas bervariasi selama pengujian. Nilai efektivitas dari sistem gabungan penukar kalor udara-tanah dengan kolektor surya berkisar dari 21,19% hingga 68,46%. Sedangkan nilai rata-rata efektivitas selama pengujian adalah 51,49%. Berdasarkan analisa kajian statistik terhadap data eksperimental selama beberapa hari maka pengaruh kondisi cuaca terhadap efektivitas penukar kalor udara-tanah sebesar 51,56%.

Fungsi kolektor surya pada sistem ini adalah menggantikan *blower* sebagai alat bantu untuk menggerakkan proses aliran udara pada saluran pipa. Kolektor surya memiliki jarak berkisar lima meter dari ruangan dengan posisi kemiringan 30° ke arah timur. Data pengujian menunjukkan bahwa temperatur permukaan plat kolektor berkisar dari 83,13-93,87°C. Sementara temperatur udara rata-rata di dalam kolektor adalah 58,32°C. Perbedaan temperatur udara yang keluar dari ruangan menuju kolektor dengan temperatur udara keluar kolektor mengakibatkan perbedaan massa jenis udara di dalam kolektor.

Perbedaan massa jenis tersebut membuat terjadinya perbedaan tekanan udara di sepanjang pipa penukar kalor. Perbedaan tekanan ini menyebabkan terjadinya proses aliran udara di sepanjang pipa menuju ke ruangan uji hingga keluar dari kolektor. Adanya peningkatan intensitas radiasi yang

menimpa permukaan kolektor maka semakin membuat peningkatan temperatur udara di dalam kolektor.

Oleh karena itu, semakin besar perbedaan temperatur yang terjadi maka kecepatan aliran udara yang mengalir di dalam pipa semakin bertambah dan sebaliknya. Tabel 3 menampilkan efisiensi kolektor maksimum selama pengujian. Variabel intensitas radiasi, temperatur lingkungan dan kelembaban udara diperoleh dari alat ukur cuaca HOBO *station* yang dipasang di lokasi pengujian sedangkan nilai efisiensi kolektor diperoleh dari hasil penghitungan. Nilai efisiensi kolektor bervariasi dari 7,05-61,38%.

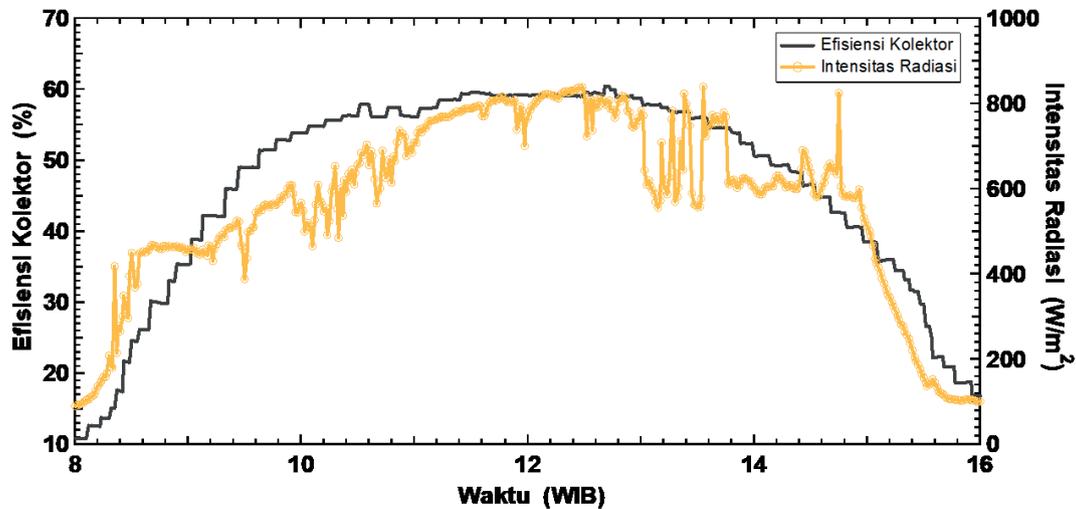
Parameter utama yang mempengaruhi kinerja kolektor surya kondisi cuaca yang meliputi intensitas radiasi surya, temperatur udara dan kelembaban udara. Perubahan intensitas radiasi turut mengakibatkan fluktuasi pada temperatur udara di dalam kolektor. Selain itu variabel laju aliran udara di dalam kolektor juga berpengaruh terhadap efisiensi kolektor. Semakin besar laju aliran udara yang terjadi di dalam kolektor maka kinerja kolektor surya semakin meningkat dan berlaku sebaliknya.

Gambar 8 menampilkan kondisi fluktuasi efisiensi termal kolektor dan intensitas radiasi pada pengujian hari pertama. Tampak bahwa perubahan efisiensi termal kolektor pada sistem unit penukar kalor udara-tanah memiliki pola yang hampir sama dengan fluktuasi intensitas radiasi matahari.

**Tabel 3.**  
Kinerja Kolektor Surya Pada Sistem Gabungan Penukar Kalor Udara-Tanah

| Hari | Intensitas (W/m <sup>2</sup> ) | Temperatur Lingkungan (°C) | Kelembaban udara (%) | Efisiensi Kolektor (%) |
|------|--------------------------------|----------------------------|----------------------|------------------------|
| 1    | 838.10                         | 35.30                      | 68.85                | 60.44                  |
| 2    | 892.12                         | 34.60                      | 71.94                | 60.86                  |
| 3    | 879.40                         | 34.10                      | 66.00                | 61.38                  |

(Sumber: Peneliti)



Gambar 8. Kondisi Efisiensi Termal Kolektor dan Radiasi Matahari Pada Hari Pertama (Sumber: Peneliti)

## SIMPULAN

Pengujian kinerja suatu sistem gabungan penukar kalor udara-tanah dengan kolektor surya telah diuji di kota Medan. Sistem gabungan tersebut dapat membuat kondisi kenyamanan lingkungan termal di dalam ruangan dengan temperatur rata-rata 27,83°C. Selama proses pengujian maka terjadi penurunan temperatur rata-rata ruangan dari 1,86°C hingga 3,27°C. Data eksperimental selama pengujian menunjukkan bahwa efektivitas rata-rata dari sistem penukar kalor adalah 51,49%. Parameter utama yang mempengaruhi kinerja dari sistem gabungan penukar kalor udara-tanah dengan kolektor surya adalah kondisi cuaca yang meliputi intensitas radiasi surya, temperatur dan kelembaban udara.

Rencana penelitian pada masa yang akan datang adalah dengan menggabungkan sistem penukar kalor udara-tanah dengan beberapa komponen seperti, cerobong surya, kolektor surya dan panel surya untuk menggerakkan *blower* dengan posisi pipa penukar kalor udara-tanah secara vertikal. Sedangkan rekomendasi dari penelitian ini adalah sistem penukar kalor udara-tanah sesuai digunakan untuk kondisi cuaca cerah dengan posisi permukaan kolektor langsung terpapar dengan radiasi matahari.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Kegiatan ini merupakan bagian dari Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (PDUPT) tahun pertama (2020) yang didanai oleh Deputi Bidang Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agrawal, K. K., Agrawal, G. Das, Misra, R., Bhardwaj, M., & Jamuwa, D. K. (2018). A review on effect of geometrical, flow and soil properties on the performance of Earth air tunnel heat exchanger. *Energy and Buildings*, 176, 120–138. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.07.035>
- ASHRAE. (2013). Thermal environmental conditions for human occupancy. Dalam *ASHRAE Standard*. Diakses dari <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/thermal-environmental-conditions-for-human-occupancy>
- Bordoloi, N., Sharma, A., Nautiyal, H., & Goel, V. (2018). An intense review on the latest advancements of Earth Air Heat Exchangers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89,

- 261–280. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.056>
- Brum, R. S., Ramalho, J. V. A., Rodrigues, M. K., Rocha, L. A. O., Isoldi, L. A., & Dos Santos, E. D. (2019). Design evaluation of Earth-Air Heat Exchangers with multiple ducts. *Renewable Energy*, 135, 1371–1385. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.09.063>
- Chaturvedi Ashish Kumar, & Bartaria, V. N. (2015). Performance of Earth Tube Heat Exchanger Cooling of Air – a Review. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 4(1), 378.
- Chiesa, G. (2017). Climate-potential of earth-to-air heat exchangers. *Energy Procedia*, 122, 517–522. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.300>
- Cuny, M., Lin, J., Siroux, M., Magnenet, V., & Fond, C. (2018). Influence of coating soil types on the energy of earth-air heat exchanger. *Energy and Buildings*, 158, 1000–1012. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.048>
- Duffie, J. A., Beckman, W. A., & McGowan, J. (1985). Solar Engineering of Thermal Processes. *American Journal of Physics*, 53(4):382. <https://doi.org/10.1119/1.14178>
- Estrada, E., Labat, M., Lorente, S., & Rocha, L. A. O. (2018). The impact of latent heat exchanges on the design of earth air heat exchangers. *Applied Thermal Engineering*, 129, 306–317. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.10.007>
- Industries Daikin. (2015). Industries Daikin Business situations during the summer in Tokyo. *Daikin 21st Surv Attitudes Mod People Towar Air*.
- Li, Haorong, Yu, Y., Niu, F., Shafik, M., & Chen, B. (2014). Performance of a coupled cooling system with earth-to-air heat exchanger and solar chimney. *Renewable Energy*, 62, 468–477. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.08.008>
- Li, Hui, Ni, L., Yao, Y., & Sun, C. (2019). Experimental investigation on the cooling performance of an Earth to Air Heat Exchanger (EAHE) equipped with an irrigation system to adjust soil moisture. *Energy and Buildings*, 196, 280–292. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.05.007>
- Maerefat, M., & Haghghi, A. P. (2010). Passive cooling of buildings by using integrated earth to air heat exchanger and solar chimney. *Renewable Energy*, 35(10), 2316–2324. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.03.003>
- Ozgener, L. (2011). A review on the experimental and analytical analysis of earth to air heat exchanger (EAHE) systems in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4483–4490. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.103>
- Sitorus, T. B. (2018). Kinerja Kolektor Tipe Plat Datar Pada Mesin Pendingin Adsorpsi Tenaga Surya Di Kota Medan. *Jurnal Teknosains*, 7(2), 94–103. <https://doi.org/10.22146/teknosains.35327>
- Sitorus, T. B., & Abda, S. (2020). Performansi Kolektor Surya Pada Mesin Pendingin Yang Menggunakan Pasangan Adsorpsi Karbon Aktif Serbuk-Metanol. *Teknik*, 41(1), 1–8. <https://doi.org/10.14710/teknik.v41i1.25406>
- Sitorus, T. B., Napitupulu, F. H., & Ambarita, H. (2016). Experimental study of solar refrigerator system using activated alumina and methanol adsorption pair. *International Journal of Technology*, 7(5), 910–922. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v7i5.1484>
- Soni, S. K., Pandey, M., & Bartaria, V. N. (2015). Ground coupled heat exchangers: A review and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47,

- 83-92. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.014>
- Standar Nasional Indonesia. (2001). Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung. In *Sni 03 - 6572 - 2001*.
- Wang, X., Bjerg, B. S., & Zhang, G. (2018). Design-oriented modelling on cooling performance of the earth-air heat exchanger for livestock housing. *Computers and Electronics in Agriculture*, 152, 51-58. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.07.006>