

Performansi Alat Penukar Kalor Udara-Tanah Menggunakan Siklus Tertutup di Kota Medan

Terang UHS Ginting Manik^{a*}, Tulus Burhanuddin Sitorus^a, Andi Syahputra^a

^aDepartemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

Jl. Almamater Kampus USU Medan, 20155, Telp. 061-8213250

*E-mail: terang1@usu.ac.id

Abstract

Efforts to find alternative renewable energy sources lately are increasingly being intensified as increasing human demand for energy consumption is increasingly high. Air-Ground Heat Exchanger (EAHE) is one solution that can be developed by utilizing the energy stored in the soil. This research was conducted to determine the effect of EAHE performance on the decrease in air temperature that enters the test chamber as well as the exit, the Number of Transfer Unit and also the Coefficient of Performance value in the underground planting pipe. The results show that EAHE which is used as a passive cooling room can provide a pretty good performance by decreasing the temperature in the test room which reaches 3-6° C. The lowest NTU on September 3, 2018 was obtained at 3.9977, and the highest was 3.9879 with airspeed of 2 m/s. Meanwhile, on August 20, 2018, the highest NTU value was obtained at 3.6503 and the lowest was 3.6463 with an air speed of 3 m/s. When the air speed is 2 m / s, the NTU value averages 3.9925 so that the COP value averages 4.011. When the air velocity is 3 m / s the value of NTU is an average of 3.6481, the COP value is an average of 3.5880.

Keywords: Earth-Air Heat Exchanger (EAHE); Number of Transfer Unit (NTU); Coefficient of Performance (COP)

Abstrak

Upaya menemukan sumber energi alternatif terbarukan akhir-akhir ini semakin gencar dilakukan seiring meningkatnya kebutuhan manusia akan konsumsi energi yang semakin tinggi. Penukar Kalor Udara-Tanah atau Earth-Air Heat Exchanger (EAHE) merupakan salah satu solusi yang dapat dikembangkan dengan memanfaatkan energi yang tersimpan dalam tanah. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kinerja EAHE terhadap penurunan suhu udara yang masuk ke dalam ruangan uji maupun yang keluar, nilai Number of Transfer Unit dan juga nilai Coefficient of Performance pada pipa tanam bawah tanah. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa EAHE yang digunakan sebagai pendingin pasif ruangan dapat memberikan kinerja yang cukup baik dengan penurunan suhu di ruangan uji yang mencapai 3-6° C. NTU terendah pada tanggal 3 September 2018 diperoleh sebesar 3,9977, dan tertinggi sebesar 3,9879 dengan kecepatan udara 2 m/s. Sementara itu, pada tanggal 20 Agustus 2018, di peroleh nilai NTU tertinggi sebesar 3,6503 dan terendah sebesar 3,6463 dengan kecepatan udara 3 m/s. Saat kecepatan udara 2 m/s, nilai NTU rata-rata 3,9925 sehingga nilai COP rata-rata 4,011. Ketika kecepatan udara 3 m/s nilai NTU rata-rata 3,6481 maka nilai COP rata-rata 3,5880.

Kata Kunci: Penukar Kalor Udara-Tanah (Earth-Air Heat Exchanger (EAHE)); Number of Transfer Unit (NTU); Coefficient of Performance (COP)

1. Pendahuluan

Manusia selalu membutuhkan kondisi lingkungan yang nyaman dalam sebuah bangunan. Namun, energi sangat dibutuhkan untuk menjaga kondisi lingkungan dalam bangunan yang nyaman. Saat ini, konsumsi energi untuk bangunan mencapai 25-40% dari total konsumsi energi dunia, dimana sebagian besar energi dihabiskan untuk memanaskan ataupun mengkondisikan udara dan berasal dari bahan bakar fosil seperti batubara, minyak dan gas bumi. Kebutuhan untuk pengembangan yang berkelanjutan mendorong manusia untuk mencari alternatif, energi terbarukan untuk mengkondisikan lingkungan dalam sebuah bangunan [1].

Akibat meningkatnya kebutuhan manusia akan udara yang nyaman, meningkatnya harga energi dan masalah lingkungan orang berlomba-lomba untuk menemukan sebuah system berbasis energi terbarukan yang mampu menjawab semua tantangan tersebut. Salah satu solusi yang dapat dikembangkan adalah memanfaatkan energi yang tersimpan dalam tanah (*earth energy*). Energi ini dapat dimanfaatkan sebagai ventilasi maupun sistem pengkondisian

udara dengan menggunakan alat yang disebut penukar kalor antara udara-tanah atau EAHE (*Earth-Air Heat Exchanger*) [1].

Tanah menerima radiasi surya melalui permukaannya dan berperan sebagai sebuah reservoir energi surya yang besar. Karena inersia panas dari tanah, fluktuasi dari amplitudo temperatur tanah meningkat secara eksponensial seiring dengan pertambahan kedalaman. Karena itu, pada kedalaman yang cukup, tanah tidak sehangat udara luar pada musim dingin dan tidak sepanas udara luar pada musim panas. Hal ini merupakan sebuah kesempatan yang menjanjikan untuk menggunakan energi geothermal pada pendinginan ataupun pemanasan pasif pada kondisi udara dalam bangunan.

Sebuah alat penukar kalor darat tanah terdiri dari satu atau lebih pipa yang diletakkan dibawah tanah untuk mensuplai pengkondisian udara pada bangunan. Fenomena yang terjadi cukup sederhana dan bergantung pada perbedaan temperature antara tanah dengan udara lingkungan. Udara lingkungan dialirkan kedalam pipa yang ditanam di bawah tanah menggunakan blower dan mengalami perpindahan panas langsung dengan tanah dan udara tersebut bersirkulasi di dalam ruangan uji. Upaya pengembangan metode sistem perpindahan panas pada lapisan tanah ini selain untuk pendinginan ruangan yang berbiaya murah juga diharapkan dapat memperbaiki lingkungan dengan mengurangi kadar CFC (*Chloro-Fluoro-Carbon*) dalam udara yang banyak digunakan mesin-mesin pendingin ruangan seperti AC (*air conditioner*). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai NTU dan ϵ dari EAHE, termasuk pengaruh kinerja EAHE terhadap penurunan suhu udara masuk serta untuk mengetahui suhu udara yang masuk ke dalam ruangan uji ($T_{out-EAHE}$).

Sebagai tambahan, penelitian ini juga dilakukan untuk mengetahui nilai COP (*Coefficient of Performance*) pada pipa tanam bawah tanah. Melalui penelitian ini, hasil yang akan dicapai adalah (1) membuat pendingin ruangan alami yang dapat dimaksimalkan dengan energi terbarukan, (2) diketahui suhu ruangan optimal dan besar penurunan temperatur yang diperoleh dari alat penukar kalor udara tanah.

Dalam analisis alat penukar kalor, dikenal koefisien perpindahan panas menyeluruh (*Overall Heat Transfer Coefficient*) yang memperhitungkan semua efek yang terjadi pada perpindahan panas [4]. Besarnya laju perpindahan panas ini bisa berbeda-beda pada sepanjang titik alat penukar kalor. Dalam analisa alat penukar kalor, metode yang paling mudah digunakan adalah metode LMTD (*Log Mean Temperature Difference*) yang berarti nilai tengah perbedaan temperatur di sepanjang alat penukar kalor, Namun, bila temperatur pada sisi keluar alat penukar kalor tidak diketahui, untuk menganalisa alat penukar kalor digunakan metode keefektifan – NTU [3].

Alat penukar kalor bawah tanah atau sering disebut EAHE merupakan alat penukar kalor dengan pengaplikasian satu pipa atau lebih yang dipendamkan di dalam tanah dengan kedalaman tertentu. Pipa yang digunakan adalah pipa dari bahan PVC (*polyvinyl chloride*), HDPE (*high density polyethylene*) maupun pipa galvanis. Dalam melakukan siklus alat penukar kalor, *Earth Air Heat Exchanger* memiliki 2 macam siklus kerja yang berbeda. Perbedaan siklus tersebut adalah keluaran udara akhir, apakah akan dialirkan kembali masuk kedalam EAHE atau dilepaskan keudara. Siklus tersebut terbagi atas siklus terbuka (*Open Loop*) dan siklus tertutup (*Close Loop*) [1].

Penggunaan tanah sebagai media perpindahan panas juga sangat berpengaruh, dalam menerapkan EAHE. Penggunaan tanah basah tentunya akan lebih baik dalam menghantarkan panas daripada tanah kering. Dalam penerapan EAHE dengan konveksi paksa (adanya penambahan blower) udara keluar akan sangat bergantung dari kecepatan blower itu sendiri. Sebaliknya, apabila dengan menerapkan konveksi alamiah (tanpa blower) maka udara yang dihantarkan akan memanfaatkan perbedaan tekanan dari *input* dan *output* Alat Penukar Kalor Udara Tanah itu sendiri. Material pipa yang digunakan sebagai media penghantar juga perlu diperhatikan. Penggunaan pipa dengan nilai konduktivitas yang sesuai dengan konduktivitas tanah akan sangat mendukung performansi dari Alat Penukar Kalor Udara Tanah. Selain itu juga, kedalaman tanah juga menjadi faktor pendukung, karena semakin dalam pipa EAHE ditempatkan maka gradien temperatur akan meningkat. Untuk pengaplikasiannya kedalaman 2 m hingga 3 m sudah sangat baik untuk meningkatkan gradien suhu yang tinggi [1].

Pada penelitian ini, tipe aliran yang digunakan adalah *single stream*. Besarnya nilai perpindahan panas dari alat penukar kalor udara-tanah dapat ditentukan dari persamaan [4]:

$$Q_h = \dot{m} C_p (T_{out} - T_{in}) \tag{1}$$

di mana C_p adalah nilai panas spesifik dari udara (J/kg-k), \dot{m} adalah laju aliran massa (kg/s) dan T_{out} adalah temperatur sisi keluar pipa, T_{in} adalah temperatur sisi masuk pipa. Sedangkan untuk menentukan besar konveksi aliran pada udara dengan dinding pipa dapat digunakan persamaan (1), dengan perbedaan pada ΔT yang digunakan adalah perbedaan temperatur rata-rata ΔT_{lm} yaitu [5] :

$$\Delta T_{lm} = \frac{T_{in} - T_{out}}{\ln \left[\frac{T_{in} - T_{wall}}{T_{out} - T_{wall}} \right]} \tag{2}$$

di mana :

T_{wall} = suhu tanah (T_{soil})

Untuk resistansi termal pipa dapat digunakan dengan persamaan [6] :

$$R_{soil} = \frac{1}{K_{pipe} 2\pi L} \ln(r_e/r_i) \tag{3}$$

K_{pipe} = konduktivitas termal PVC (0,52 W/mK)

r_e = jari-jari bagian luar pipa (m)

r_i = jari-jari bagian dalam pipa (m)

Sementara nilai resistansi termal untuk tanah ditentukan dengan persamaan :

$$R_{soil} = \frac{1}{K_{pipe} 2\pi L} \ln(R(z, x) r_e) \quad (4)$$

dimana :

K_{soil} = konduktivitas termal tanah (0,16 W/mK)

$R(z, x)$ = kedalaman tanah (m)

Dan nilai resistansi termal antara dinding bagian dalam pipa dengan udara ditentukan melalui persamaan :

$$R_{conv} = \frac{1}{hA_i} \quad (5)$$

Sehingga untuk menghitung konduktivitas termal untuk sebuah alat penukar kalor Alat Penukar Kalor Udara Tanah dapat digunakan[6] :

$$U = \frac{1}{(R_{conv} + R_{pipe} + R_{soil})} \quad (6)$$

di mana:

R_{conv} : Tahanan konveksi

R_{pipe} : Tahanan Pipa

R_{soil} :Tahanan Tanah

Dalam model ini, R_{tot} terdiri dari resistansi konveksi di dalam pipa (R_{conv}), resistansi konduksi dinding pipa (R_{pipe}), dan resistansi konduksi tanah (R_{soil}). Dengan demikian R_{tot} disajikan dengan persamaan [6] :

$$R_{tot} = (R_{conv} + R_{pipe} + R_{soil}) \quad (7)$$

Jika dimensi pipa memiliki panjang yang tak terhingga ($A = \infty$), maka udara akan didinginkan serupa dengan temperatur dinding dalam pipa. Maka nilai dari NTU alat penukar kalor udara-tanah dapat ditentukan dari persamaan [7]:

$$NTU = \frac{UA}{\dot{m}C_p} \quad (8)$$

dimana \dot{m} adalah laju aliran massa (kg/s), U adalah koefisien perpindahan panas (Wm^2/K), dan c_p adalah nilai panas spesifik dari udara (J/kg-k). Nilai efektivitas alat penukar kalor udara-tanah teoritis didapat dari korelasi [7]:

$$\varepsilon = 1 - e^{-NTU} \quad (9)$$

Untuk menentukan efektivitas alat penukar kalor hasil eksperimental diperoleh dari persamaan [7]:

$$\varepsilon = \frac{T_{in} - T_{out}}{T_{in} - T_{out}} = 1 - e^{-(hA/\dot{m}C_p)} \quad (10)$$

dengan mensubstitusikan nilai untuk temperatur udara masuk dan temperatur udara keluar eksperimental serta temperatur tanah.

Nilai dari koefisien performansi dari alat penukar kalor udara-tanah dapat ditentukan dari persamaan [9]:

$$COP = \frac{Q_c}{P_f} \quad (11)$$

di mana P_f adalah energi yang diperlukan untuk menggerakkan *blower* pada penukar panas udara-tanah. Besarnya kapasitas pendinginan yang terjadi diperoleh dari persamaan:

$$Q_c = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{in} - T_{out}) \quad (12)$$

2. Material dan Metode Penelitian

Alat penukar kalor udara-tanah yang dirakit menggunakan pipa PVC dengan diameter 10,16 mm dan ketebalan 3 mm. Untuk mensirkulasikan udara digunakan *blower* yang diatur putarannya menggunakan inverter. Termokopel tipe K dengan akurasi $\pm 0.1^\circ C$ diletakkan pada sisi masuk dan sisi keluar serta pada beberapa titik sepanjang alat penukar kalor. Disamping itu termokopel diletakkan juga pada kedalaman 2 m di bawah permukaan tanah. Objek penelitian adalah udara lingkungan yang disirkulasikan ke dalam alat penukar kalor udara-tanah untuk didinginkan.

Tabel 1. Spesifikasi alat penukar kalor udara-tanah

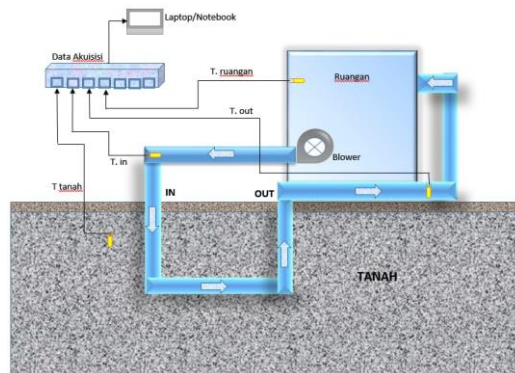
No	Data	Keterangan
1	Diameter pipa EAHE	d = 0,1016 m
2	Panjang pipa EAHE	L = 26,5 m
3	Kedalaman tanah	Z = 2 m
4	Media yang didinginkan	Udara
5	Jumlah blower	1 buah @ 2850 rpm

Proses pengujian dilakukan mulai dari pukul 10.00 WIB pagi dimana *blower* mulai mensirkulasikan udara ke dalam alat penukar kalor udara-tanah. Data akuisisi yang terhubung ke termokopel merekam temperatur pada sisi masuk dan sisi keluar sepanjang pipa alat penukar kalor udara-tanah serta temperatur tanah setiap menit. Untuk menghasilkan kecepatan udara masuk yang sesuai digunakan inverter motor listrik tiga fasa. Proses pengujian diakhiri pada pukul 18.00 WIB. Kemudian pengujian dilakukan keesokan harinya dengan prosedur yang sama. Tabel 1 menampilkan spesifikasi dari sistem alat penukar kalor udara-tanah yang diuji.



Gambar 4. (a) Lokasi dan (b) alat penukar kalor udara-tanah yang dirakit

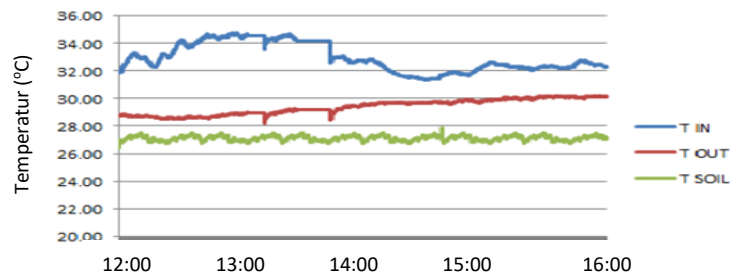
Gambar 4 di atas menampilkan lokasi dan alat penukar kalor udara-tanah yang dirakit. Sementara itu, Gambar 5 menunjukkan skema eksperimental saat pengujian. Udara dialirkan ke dalam pipa menggunakan *blower* dengan kecepatan aliran udara masuk 2 m/s dan 3 m/s. *Blower* dihubungkan dengan inverter sehingga dapat diatur frekuensi putaran *blower* untuk menghasilkan kecepatan aliran udara yang diinginkan. Untuk mengetahui kecepatan udara yang dihasilkan maka digunakan alat ukur anemometer.



Gambar 5. Skema eksperimental

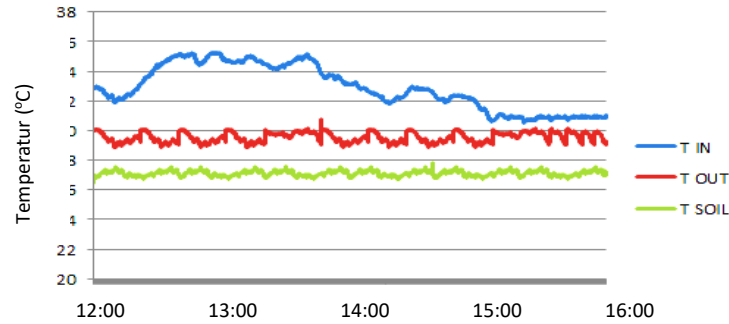
3. Hasil dan Diskusi

Gambar 6 menampilkan kondisi temperatur keluaran udara teoritis untuk kecepatan udara 2 m/s pada pengujian pada tanggal 3 September 2018. Diperoleh temperatur masukan rata-rata sebesar 32,96°C dan temperatur keluaran rata-rata sebesar 29,39°C. Berdasarkan data hasil pengukuran diperoleh bahwa alat penukar kalor udara-tanah mampu menurunkan temperatur udara rata-rata sebesar 3,57°C.



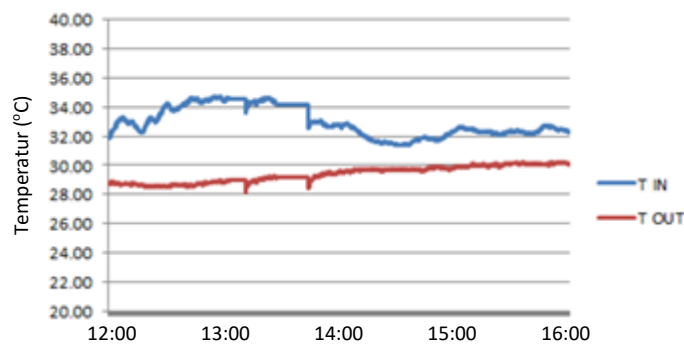
Gambar 6. Kondisi temperatur yang diamati pada 3 September 2018

Sementara itu, Gambar 7 menampilkan temperatur keluaran teoritis untuk kecepatan udara 3 m/s yang dilakukan pada pengujian pada tanggal 22 Agustus 2018. Diperoleh temperatur masukan rata-rata sebesar 32,9°C dan temperatur keluaran rata-rata sebesar 29,54°C. Berdasarkan data hasil pengukuran diperoleh bahwa alat penukar kalor udara-tanah mampu menurunkan temperatur udara rata-rata sebesar 3,36°C.



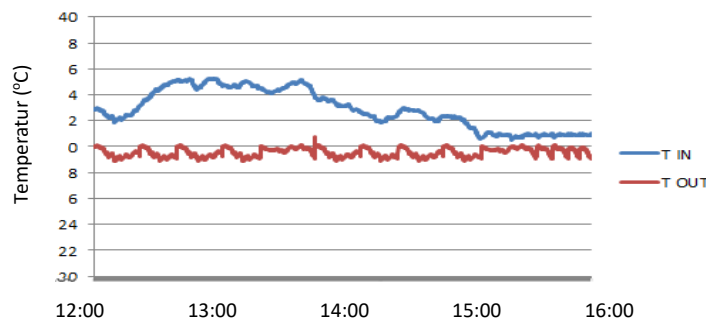
Gambar 7. Kondisi Temoeratur yang diamati 22 Agustus 2018

Setelah dilakukan perhitungan data eksperimental berdasarkan data yang didapat pada tanggal 22 Agustus 2018, maka diperoleh kondisi temperatur masuk dan keluar terlihat pada Gambar 8, sebagai berikut:



Gambar 8. Kondisi temperatur masuk dan temperatur keluar Tanggal 03 September 2018

Gambar 8 menunjukkan besar penurunan suhu yang terjadi selama pengujian pada tanggal 03 September 2018. Suhu maksimal masuk ke dalam EAHE ($T_{in-EAHE}$) sebesar $34,76^{\circ}\text{C}$ dan suhu terendah masuk ke dalam EAHE sebesar $31,48^{\circ}\text{C}$. Suhu keluar EAHE ($T_{out-EAHE}$) maksimal sebesar $28,17^{\circ}\text{C}$ dan suhu terendah keluar EAHE sebesar $30,21^{\circ}\text{C}$. Penurunan suhu yang dapat dikerjakan oleh *Earth Air Heat Exchanger* rata-rata sebesar $4-7^{\circ}\text{C}$. Hal yang paling berpengaruh selama pengujian adalah kecepatan udara yang masuk kedalam EAHE. Kecepatan udara rata-rata berada pada kecepatan 2 m/s dengan aliran massa yang dihasilkan sebesar $0,0185\text{kg/s}$. Gambar 9 menunjukkan perhitungan data eksperimental berdasarkan data pada 22 Agustus 2018.



Gambar 9. Kondisi temperatur masuk dan temperatur keluar Tanggal 22 Augustus 2018

3.1 Koefisien Performansi

Dari data eksperimen dan hasil pengujian maka diperoleh nilai COP alat penukar kalor udara-tanah seperti tampak pada Tabel 1.

Tabel 1. Coefficient of Performance

V_{in} (m/s)	Kondisi	COP
2	Maksimum	5.001
	Rata-rata	4.941
3	Maksimum	5.075
	Rata-Rata	3.588

Tabel 1 menunjukkan bahwa dengan kenaikan kecepatan udara masuk (V_{udara}) dari 2 m/s ke 3 m/s nilai COP alat penukar kalor meningkat dari 5.001 menjadi 5.075. Nilai maksimum COP didapat dengan kecepatan udara masuk 3 m/s sebesar 5.075

3.2 Number of Transfer Unit

Yang diperoleh dari hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai NTU EAHE

V_{in} (m/s)	Kondisi	NTU
2	Maksimum	3.9977
	Rata-rata	3.9924
3	Maksimum	3.6503
	Rata-Rata	3.6481

Berdasarkan nilai NTU yang diperoleh maka dapat ditentukan nilai efektifitas dari EAHE seperti tampak pada Tabel 3:

Tabel 3. Nilai Efektivitas EAHE

V_{in} (m/s)	$T_{in-EAHE}$ (°C)	ϵ
2	34.76	0.50585
3	35.27	0.48812

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, *Air Heat Exchanger* yang digunakan sebagai pendingin pasif ruangan dapat memberikan kinerja yang cukup baik. Penurunan suhu di ruangan uji dapat mencapai 3 – 6 °C. Udara yang bersirkulasi di dalam *Earth Air Heat Exchanger* mengalami penurunan hingga berkisar pada 32,90 °C pada pengujian tanggal 3 September 2018 dan 32,96 °C pada pengujian tanggal 20 Agustus 2018. Sementara, *NTU* (*Number of Transfer Unit*) terendah diperoleh sebesar 3,9977 dan tertinggi sebesar 3,9879 pada tanggal 3 September 2018 dengan kecepatan udara 2 m/s. Pada tanggal 20 Agustus 2018 diperoleh nilai *NTU* tertinggi sebesar 3,6503 dan terendah sebesar 3,6463 dengan kecepatan udara 3 m/s. Semakin tinggi kecepatan udara yang masuk untuk bersirkulasi di dalam *Earth Air Heat Exchanger* maka semakin kecil nilai *NTU* yang diperoleh. Dalam sistem penukar kalor tanah udara ini, nilai COP akan turun karena dipengaruhi oleh nilai *NTU* yang semakin menurun. Saat kecepatan udara 2 m/s nilai *NTU* rata-rata 3,9925 sehingga nilai COP rata-rata 4,011. Ketika kecepatan udara 3 m/s nilai *NTU* rata-rata 3,6481 maka nilai COP rata-rata 3,5880. Hal ini terjadi akibat semakin rendahnya temperatur udara masuk pada alat penukar kalor udara-tanah. Yang menyebabkan, kapasitas kalor spesifik juga akan semakin kecil. Kondisi ini akan berpengaruh pada turunnya nilai kapasitas pendingin dari alat penukar kalor tersebut.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Universitas Sumatera Utara atas bantuan dana yang diberikan melalui proyek penelitian TALENTA tahun 2019.

Daftar Pustaka

- [1] Belatrache D. (2016) "Numerical Analysis of Earth Air Heat Exchanger at Operating Conditions in Arid Climates. *International Journal of Hydrogen Energy*. 30. 1-7.
- [2] Bulut H (2014) "Experimental Analysis of An Earth Tube Ventilation System Under Hot and Dry Climatic Conditions. *Proceedings of the 12nd National Sanitary Engineering Congress*. vol 2. 1789-1804.
- [3] Ben J. D (2010) "Investigation of The Ground Thermal Potential in Tunisia Focused Towards Heating and Cooling Applications. *Applied Thermal Engineering*. vol. 30. 10991-1100.
- [4] Sitorus T. B. (2018) IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 309, 012089, 2018.

- [5] Incropera F.P (2011) “*Introduction to Heat Transfer*. Edisi ke 7, John Wiley & Sons. New York.
- [6] Bisiniya T.S (2015) “Design of Earth-Air Heat Exchanger System. *Geothermal Energy*. vol 3. 18-28.
- [7] Pfafferott J. (2003) “Evaluation of Earth to Air Heat Exchanger With A Standardised Method to Calculate Energy Efficiency. *Energy and Buildings*. Vol 35. 971-983.
- [8] Vaz J. (2014) “An Experimental Study on The Use of Earth-Air Heat Exchanger. *Energy and Buildings*. *Energy and Buildings*. vol 72. 122-131.
- [9] Yang D., et al., (2015)“Evaluation of The Termal Performance of An Earth to Air Heat Exchanger in a Harmonic Thermal Environment. *Energy Conversion and Management*. Vol 109. 184-194.