

OPTIMASI EAHE SEBAGAI UPAYA PENDINGIN RUANG SIANG HARI DI SURABAYA

Anik Juniwati

Dosen Prodi Arsitektur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Kristen Petra
Surabaya
e-mail: ajs@petra.ac.id

Danny Santoso Mintorogo

Dosen Prodi Arsitektur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Kristen Petra
Surabaya
e-mail: dannysm@petra.ac.id

Ekadewi Anggraini Handoyo

Dosen Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Industri, Universitas Kristen Petra Surabaya
e-mail: ekadewi@petra.ac.id

ABSTRAK

Lingkungan tropis yang lembab dengan temperatur tinggi secara signifikan meningkatkan risiko berbagai masalah kesehatan, seperti dehidrasi, penurunan konsentrasi, dan kelelahan, serta menurunkan produktivitas individu. Upaya pendinginan pasif yang memanfaatkan ventilasi alami seringkali tidak efektif dalam kondisi tersebut akibat temperatur udara yang tinggi, kelembaban yang tinggi, radiasi matahari yang intens, dan kecepatan angin yang rendah. Sementara itu, peningkatan kecepatan angin justru dapat mengganggu aktivitas manusia. Salah satu solusi untuk pendinginan adalah dengan memindahkan panas udara ke tanah, atau dikenal sebagai Earth-to-Air Heat Exchanger (EAHE). Penelitian ini secara eksperimental menyelidiki optimalisasi penggunaan Earth-to-Air Heat Exchanger (EAHE) sebagai solusi pendinginan di siang hari di Surabaya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa EAHE berhasil menurunkan temperatur ruang hingga 2 derajat Celsius, yang dianggap cukup signifikan untuk diterapkan sebagai sistem pendinginan ruangan. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menentukan kebutuhan udara dingin yang optimal sesuai dengan volume ruangan.

Kata kunci: Kenyamanan Termal, Ventilasi, Pendinginan Udara, EAHE

ABSTRACT

A humid tropical environment with high temperatures significantly increases the risk of various health problems, such as dehydration, decreased concentration, fatigue, and reduced productivity. Passive cooling efforts utilizing natural ventilation are often ineffective under these conditions due to high temperatures, humidity, intense solar radiation, and low wind

speeds. Meanwhile, increasing wind speed can disrupt human activities. This study experimentally investigates the optimization of using Earth-to-Air Heat Exchangers (EAHE) as a cooling solution during the daytime in Surabaya. The results show that EAHE effectively reduces room temperature by up to 2°C, which is considered significant enough to be implemented as a room cooling system. Further research is needed to determine the optimal cold air requirement based on room volume.

Keywords: *Thermal comfort, ventilation, air-cooling, EAHE*

1. PENDAHULUAN

Sebagai salah satu kota di lingkungan tropis, temperatur di kota Surabaya terus meningkat terutama di kawasan padat penduduk dengan sedikit tumbuhan. Peningkatan temperatur ini disebabkan oleh penyerapan panas oleh bangunan dan minimnya sirkulasi udara alami (Jatayu dan Susetyo, 2018). Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya oleh Santoso (2012) yang menyoroti tantangan dalam mencapai kenyamanan termal di lingkungan tropis yang ditandai dengan temperatur tinggi, kelembaban tinggi, dan kecepatan angin rendah. Kondisi iklim tersebut seringkali tidak memenuhi standar kenyamanan termal yang ditetapkan oleh ASHRAE 55. Hal ini dikarenakan peningkatan temperatur lingkungan menyebabkan dampak serius pada konsumsi energi pendinginan, permintaan listrik, penyakit bahkan kematian terkait panas, kualitas lingkungan perkotaan, kerentanan dan kenyamanan (Santamouris, 2020).

Banyak pihak telah melakukan upaya mengatasi dampak panas perkotaan telah, seperti pengembangan ruang terbuka hijau, penggunaan warna cerah pada bangunan, dan penerapan konsep atap hijau (Maru, 2015). Rohman dkk. (2021) mengkonfirmasi efektivitas penghijauan dalam menurunkan temperatur lingkungan dalam ruangan. Di sisi lain, individu seringkali melakukan adaptasi perilaku dengan mengenakan pakaian ringan untuk meningkatkan kenyamanan termal, meskipun belum ada kajian mendalam mengenai jenis bahan pakaian yang paling efektif.

Lebih lanjut lagi, berdasarkan temuan penelitian Rohman dkk. (2022), preferensi kenyamanan termal individu cenderung mengarah pada temperatur ruangan di bawah 30 derajat celsius dengan rentang waktu aktivitas yang paling ideal adalah antara pukul 06.00 hingga 09.00. Studi mengenai kinerja termal pada rumah deret di kawasan padat penduduk oleh Harjanto dkk. (2019) menunjukkan bahwa luas bangunan memiliki pengaruh signifikan terhadap kondisi termal dalam ruangan. Rumah dengan luas kurang dari 30-meter persegi cenderung mengalami temperatur dan kelembaban yang tinggi. Sementara itu, rumah dengan luas 30-45 m² atau

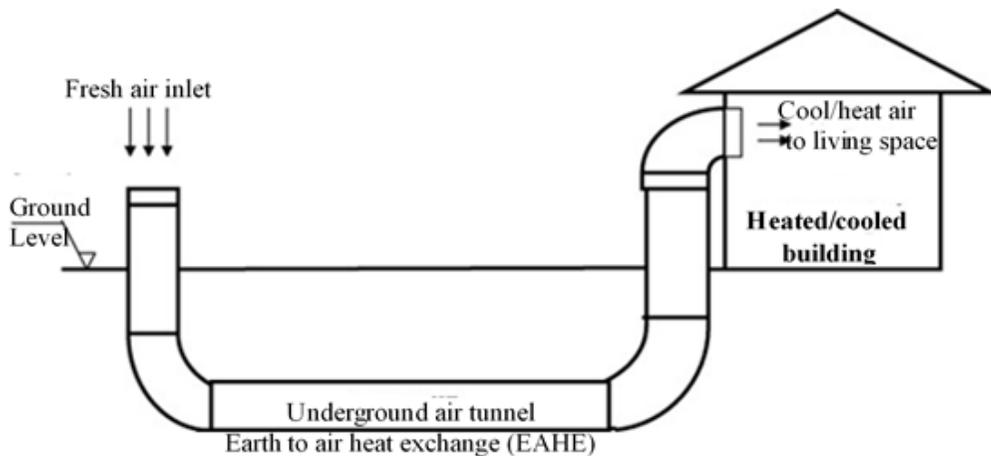
lebih masih memungkinkan untuk memperoleh kenyamanan. Hal ini dikarenakan masih adanya ruang longgar untuk pergerakan udara. Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa ketersediaan ruang yang cukup untuk sirkulasi udara berperan penting dalam menciptakan kenyamanan termal.

Dalam mengatasi permasalahan ini, upaya adaptif lainnya perlu dilakukan oleh penghuni, seperti penggunaan sistem pendingin ruangan mekanis guna menciptakan lingkungan dalam ruangan yang lebih sesuai dengan preferensi manusia. Salah satu peluang untuk mendinginkan udara adalah tanah, yaitu dengan mempertukarkan kalor udara ke tanah atau disebut sebagai *Earth to Air Heat Exchange* (EAHE). Penelitian Juniwati dkk. (2021) menunjukkan bahwa penerapan sistem EAHE pada sebuah ruangan dapat menghasilkan temperatur yang lebih stabil dibandingkan dengan ruangan tanpa sistem tersebut. Pada siang hari, ruangan dengan EAHE cenderung lebih dingin. Sementara itu, pada malam hari, temperatur ruangan dengan EAHE justru lebih hangat. Hasil penelitian tersebut mengindikasikan potensi besar penerapan EAHE sebagai pendingin ruang, terutama untuk bangunan perkotaan yang padat dan terbatas akses untuk mendapatkan ventilasi alami. Oleh karena itu, dengan mengingat kebutuhan termal di tropis lembab lebih kepada pendinginan di siang hari, maka penelitian ini sebagai penelitian lanjutan dilakukan untuk mengoptimalkan kinerja sistem EAHE melalui pengaturan waktu operasional pada siang hari.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. EAHE (*Earth-to-Air Heat Exchange*)

EAHE (Earth-to-air Heat Exchange) adalah salah satu sistem pendinginan pasif yang menggunakan terowongan udara dalam tanah. (Ozgener, 211). Pertukaran kalor terjadi antara udara dengan tanah. Sistem EAHE memanfaatkan karakteristik tanah yang mempunyai temperatur yang relatif stabil. Apabila udara lebih dingin maka tanah akan memberikan kalor pada udara, sehingga udara yang keluar dari pipa akan menjadi lebih hangat. Sebaliknya bila udara yang dimasukkan ke dalam terowongan adalah udara panas maka kalor akan terbuang ke tanah yang lebih dingin, sehingga udara yang keluar dari terowongan akan lebih dingin. Oleh sebab itu, dalam kasus udara siang hari yang panas, maka sistem EAHE ini diharapkan dapat menjadi salah satu solusi untuk mendapatkan udara yang lebih dingin masuk ke dalam ruang aktifitas manusia. Secara umum EAHE dapat digambarkan seperti yang terlihat pada gambar 1 dibawah ini.

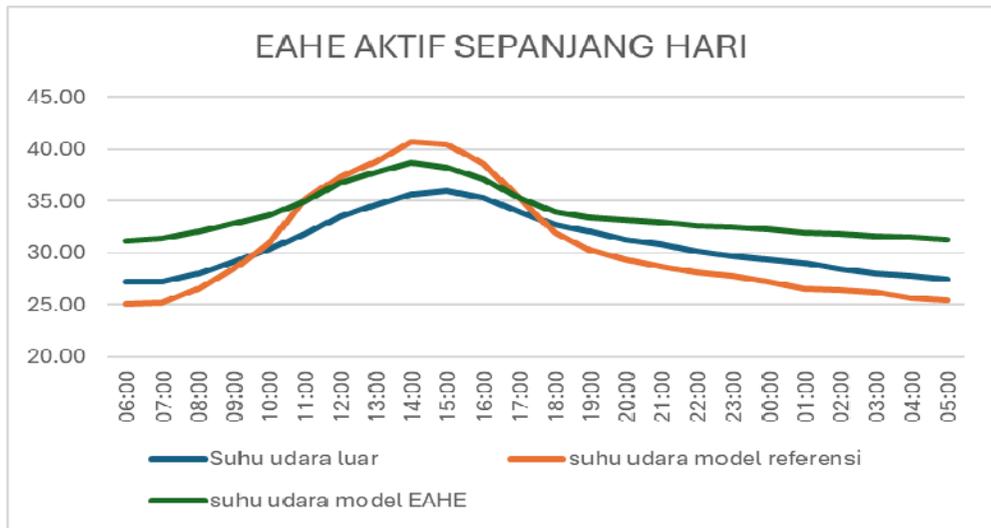


Gambar 1. Earth cooling ventilation.
Sumber: (Ozgener, 2011)

Efektivitas sistem pendingin alami menggunakan tanah (EAHE) dipengaruhi oleh tiga faktor, yaitu: material pipa, jenis kipas, dan karakter dan kelembaban tanah. Penelitian menunjukkan bahwa EAHE dapat menurunkan temperatur ruangan secara signifikan. Misalnya, di India, sebuah penelitian berhasil menurunkan temperatur hingga 5-6 derajat Celsius dengan menggunakan pipa berdiameter 10 mm dan panjang 21 meter (Tiwari dkk., 2014). Penelitian lain menggunakan simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) menunjukkan bahwa dengan memperpanjang menjadi 60 meter dan menambahkan 293 sirip, penurunan temperatur bisa mencapai hingga 20,5 derajat Celsius (Aashish Sharma, 2015).

2.2. Studi Eksperimental EAHE di Surabaya

Penelitian eksperimen studi ventilasi menggunakan model EAHE di Surabaya, telah dilakukan oleh Juniwati (2021). Penelitian ini menggunakan dua model ruang. Model ruang pertama adalah model ruang referensi yang tidak memakai sistem EAHE. Model ruang kedua adalah model ruang eksperimen dengan sistem EAHE. Pengukuran temperatur dalam penelitian ini menggunakan tiga variabel temperature, yaitu: temperatur udara luar, temperatur udara dalam model ruang tanpa penerapan EAHE, dan temperatur udara dalam model ruang dengan penerapan EAHE. Hasil penelitian menunjukkan pola fluktuasi temperatur yang berbeda pada kedua model ruangan. Pola temperatur udara rata-rata 24 jam adalah seperti terlihat pada grafik Gambar 2.



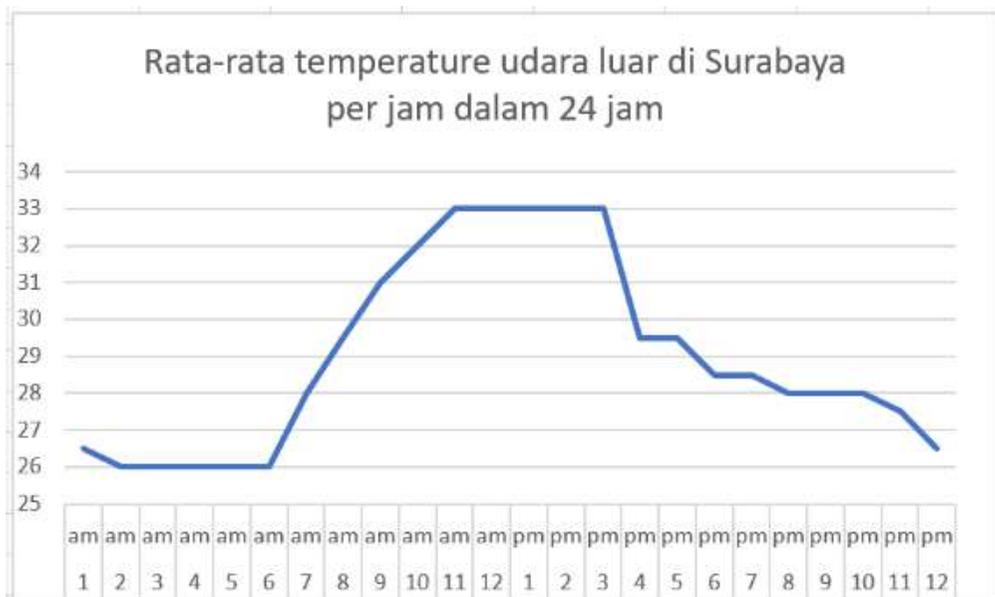
Gambar 2. Grafik pola temperatur udara 24 jam hasil eksperimen EAHE yang diaktifkan sepanjang hari.
Sumber: Juniwati, 2021

Dari grafik terlihat bahwa model ruang referensi tanpa EAHE mengalami fluktuasi temperature yang berubah signifikan terhadap fluktuasi temperatur udara luar. Pada pagi hari pukul 06.00-10.00 dan setelah pukul 18.00 hingga jam 06.00 hari berikutnya cenderung lebih rendah dibandingkan temperatur udara luar. Sedang pada siang harinya, jam 11.00-17.00 temperatur model ruang referensi menjadi lebih panas dari udara luar. Sementara model ruang eksperimen yang dilengkapi dengan sistem EAHE menunjukkan pola temperatur yang sangat mirip dengan temperatur udara luar sepanjang hari. Rata-rata temperatur model ruang eksperimen lebih tinggi sekitar 3-4°C dibandingkan temperatur udara luar.

Perbandingan antara temperature model ruang eksperimen dengan model ruang referensi menunjukkan bahwa pada rentang waktu siang hari (pukul 11.00-17.00), sistem EAHE mampu menurunkan temperatur ruang eksperimen hingga 2,1°C. Sedangkan pada periode malam hari hingga pagi hari berikutnya, tren temperatur model ruang eksperimen justru menjadi lebih tinggi dibandingkan model ruang referensi. Perbedaan temperatur yang paling signifikan terjadi pada pagi hari sekitar pukul 06.00, dengan selisih temperatur mencapai 7°C model eksperimen lebih hangat dari model referensi. Penelitian ini menunjukkan bahwa temperatur ruang yang diberi udara ventilasi dari pipa EAHE menjadi lebih stabil.

2.3. Pola Temperatur Udara Harian di Surabaya

Berdasarkan data cuaca dari accuweather.com pada bulan Oktober, temperatur di Surabaya terus meningkat mulai pukul 6 pagi. Temperatur tertinggi terjadi antara pukul 11 siang hingga 2 siang, setelah itu temperatur mulai menurun. Dari pola temperatur harian Surabaya tersebut, dikonfirmasi bahwa jam puncak panas yang terjadi adalah pada jam 11.00 – 14.00. Maka dengan mempertimbangkan pola temperatur udara harian dengan pola temperatur udara dalam ruang model yang diberi ventilasi dari pipa EAHE, disimpulkan untuk kondisi Surabaya EAHE lebih dibutuhkan pada siang hari dengan tujuan untuk menurunkan temperatur ruang.



Gambar 3. Grafik Temperature udara luar di Surabaya per jam dalam 24 Jam di Bulan Oktober

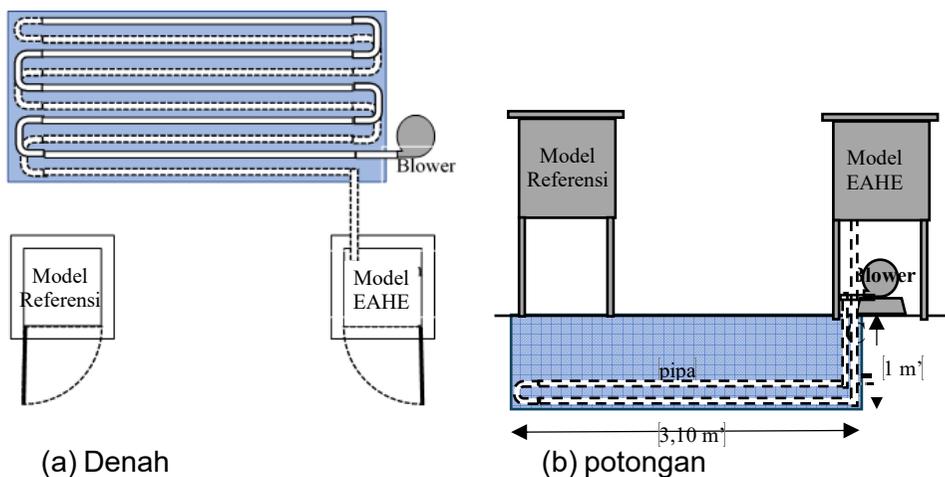
Sumber: Juniwati et al (2021), diolah dari data accuweather.com

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan model eksperimental EAHE yang telah sebelumnya diterapkan oleh Juniwati dkk. (2021). Eksperimen kali ini mengoptimalkan hasil dari eksperimen sebelumnya untuk mendapatkan temperatur udara dalam model ruang dengan EAHE yang lebih dingin di siang hari saja. Optimasi dilakukan dengan menerapkan sistem on-off pada blower yang memasukan udara dalam pipa. Blower yang dipakai dalam EAHE hanya diaktifkan pada siang hari. Dalam penelitian ini terdapat dua

ekperimen dengan varian waktu. Pertama, EAHE diaktifkan pada pukul 10.00 dimatikan pada pukul 18.00. Kedua, EAHE diaktifkan pada waktu yang sama, pukul 10.00 namun dimatikan lebih cepat yaitu pada pukul 15.00. Ekperimen dilakukan pada bulan Oktober dan diukur dengan menggunakan HOBO data logger.

Desain eksperimen tetap menggunakan dua model ruangan: model referensi tanpa sistem EAHE sebagai kontrol dan model eksperimen yang dilengkapi dengan sistem EAHE. Konfigurasi kedua model ruangan tersebut dapat dilihat secara detail pada Gambar 2. Pada model ruang eksperimen, udara segar ditiup oleh blower dengan kapasitas 3600 rpm ke dalam pipa baja hitam dengan diameter 2 inci dan panjang adalah 36 meter. Model ruang berupa ruang kubus 1,00 m x 1,00 m x 1,00 m yang yang diposisikan satu meter di atas permukaan tanah untuk meminimalkan pengaruh temperatur tanah. Lokasi eksperimen berada di halaman timur kampus timur Universitas Kristen Petra dengan kondisi lingkungan sekitar berupa tanah dan semak.

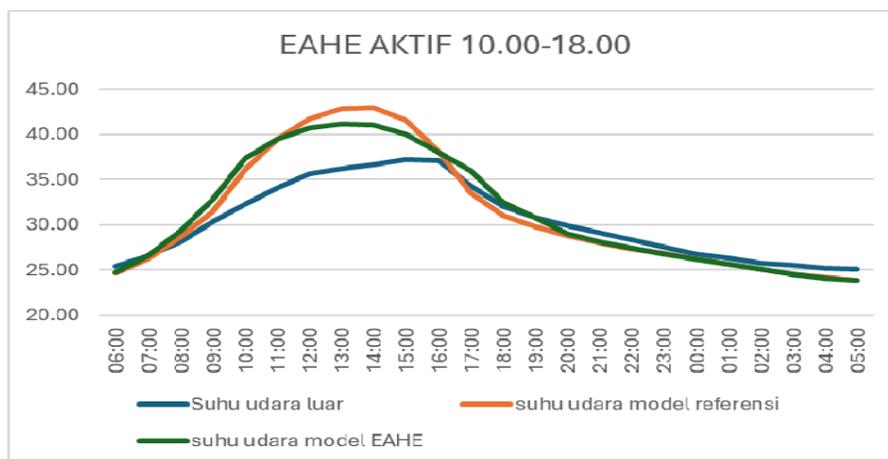


Gambar 4. Model Ruang Eksperimen (a) denah, (b) potongan

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Studi eksperimen mengenai sistem ventilasi yang menggunakan EAHE di Surabaya dengan mengaktifkan sistem EAHE hanya pada siang hari menunjukkan bahwa sistem ini dapat menurunkan temperatur ruang. Pada eksperimen yang pertama dimana EAHE diaktifkan pada pukul 10.00 dan dimatikan pada pukul 18.00 hasilnya adalah seperti terlihat pada Gambar 5.

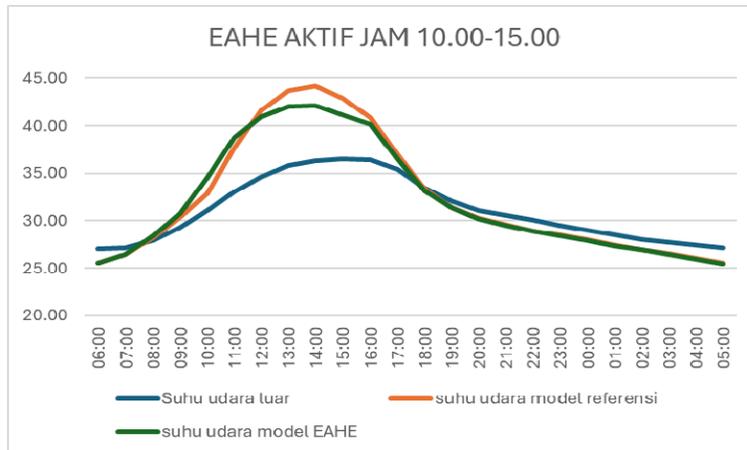
Pola temperatur udara ruang model eksperimen pada jam 06.00 - 11.00 menunjukkan temperatur yang sama pola temperatur ruang model referensi. Seperti yang terlihat pada grafik, pada jam 11.00, ketika sistem EAHE telah diaktifkan selama 1 jam, temperatur udara model ruang eksperimen perlahan menjadi lebih rendah dari temperatur udara model ruang referensi. Selisih terbesar terjadi pada pukul 14.00 sebesar 1,9 derajat Celsius, yang mana temperatur model ruang eksperimen lebih rendah dari temperatur udara model ruang referensi. Kemudian selisih tersebut berkurang. Hingga pada jam 16.00 temperatur model ruang eksperimen menjadi sama dengan temperatur udara model ruang referensi dan cenderung menjadi lebih tinggi sedikit hingga pukul 20.00. Setelah itu pola temperatur kedua ruang menjadi identik karena sama-sama tidak ada udara ventilasi dari sistem EAHE.



Gambar 5. Grafik pola temperatur udara 24 jam hasil eksperimen EAHE yang diaktifkan 10.00 – 18.00

Dari hasil eksperimen pertama, dilihat bahwa setelah jam 15.00, pemberian udara ventilasi dengan sistem EAHE tidak efektif, karena malah mendapatkan temperatur udara yang lebih tinggi dari model yang tidak diberi EAHE. Oleh karena ini pada eksperimen kedua EAHE diaktifkan pada

pukul 10.00 dan dimatikan pada pukul 15.00. Hasilnya adalah seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik pola temperatur udara 24 jam hasil eksperimen EAHE yang diaktifkan 10.00 – 15.00

Pola temperatur udara ruang model ruang eksperimen pada pagi hari sama dengan eksperimen sebelumnya. Titik perubahan temperatur udara ruang model EAHE juga sama dengan eksperimen sebelumnya, yaitu pada jam 11.00 temperatur udara model EAHE perlahan menjadi lebih rendah dari temperatur udara model ruang referensi. Waktu untuk mencapai selisih terbesar juga sama, terjadi pada pukul 14.00 sebesar 2,06 derajat Celsius. dimana temperatur udara model ruang eksperimen lebih rendah dari temperatur udara model ruang referensi. Perbedaan dengan model berikutnya adalah setelah selisih temperatur udara berkurang, pada jam 16.00, pola temperatur udara model ruang eksperimen menjadi sama dengan temperatur udara model ruang referensi serta identik hingga di pagi hari pada kedua ruang semua tidak ada udara ventilasi dari EAHE.

5. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan sistem EAHE pada rentang waktu pukul 10.00 hingga 15.00 memberikan hasil yang optimal dalam menurunkan temperatur ruangan. Perbandingan antara model ruang eksperimen dengan penerapan sistem EAHE dengan model ruang referensi tanpa sistem EAHE menunjukkan penurunan temperatur hingga dua kali lipat. Temuan ini mengindikasikan potensi penerapan EAHE sebagai solusi pendinginan ruangan di Surabaya. Rekomendasi untuk penelitian EAHE berikutnya adalah evaluasi kinerja EAHE pada ruang tunggal dengan volume sekitar 30m^3 , dengan skala 1:1. Perhitungan kebutuhan udara dingin

yang dihasilkan oleh sistem EAHE perlu dilakukan sebelumnya, agar kapasitas udara dingin cukup.

DAFTAR PUSTAKA

- Aashish Sharma, A. T. (2015). CFD Analysis of Earth-Air Heat Exchanger to Evaluate the Effect of Parameters on Its Performance. 1, 14–19. https://www.researchgate.net/publication/311302201_CFD_Analysis_of_Earth-Air_Heat_Exchanger_to_Evaluate_the_Effect_of_Parameters_on_Its_Performance
- Harjanto, S. T., Pramitasari, P. H., & Utomo, B. J. W. (2019). Karakteristik Konsumsi Energi Bangunan Pada Permukiman Padat Penduduk di Kota Malang. *PAWON: Jurnal Arsitektur*, 3(01), 87–98.
- Jatayu, A., & Susetyo, C. (2018). Analisis Perubahan Temperatur Permukaan Wilayah Surabaya Timur Tahun 2001-2016 Menggunakan Citra LANDSAT. *Jurnal Teknik ITS*, 6. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.24504>
- Juniwati, A., Mintonogo, D. S., Abednego, A. E., Kurnia, S., & Handoyo, E. A. (2021). Experimental study on ventilation using earth-to-air heat exchanger in Surabaya. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 907(1), 012015. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/907/1/012015>
- Maru, R. (2015). The Relationship between Temperature Patterns and Urban Morfometri in the Jakarta City, Indonesia. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 9. <https://doi.org/10.5572/ajae.2015.9.2.128>
- 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>
- Rohman, A., Nurbaiti, U., & Fianti, F. (2021). ANALISIS KENYAMANAN SUHU RUANG. *EnviroScientee*, 17, 1. <https://doi.org/10.20527/es.v17i1.11>
- Santamouris, M. (2020). Recent progress on urban overheating and heat island research. Integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact. Synergies with the global climate change. *Energy and Buildings*, 207, 109482. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109482>
- Santoso, E. I. (2012). Kenyamanan termal indoor pada bangunan di daerah beriklim tropis lembab. *Indonesian Green Technology Journal* 1(1), 12-19.
- Tiwari, G., Vikram, S., Joshi, P., d, S., Deo, A., d, P., & Agam, G. (2014). Design of an Earth Air Heat Exchanger (EAHE) for Climatic Condition of Chennai, India. *Open Environmental Sciences*, 8, 24–34. <https://doi.org/10.2174/1876325101408010024>