OPTIMALISASI SISTEM *EXHAUST FAN* UNTUK MENINGKATKAN KENYAMANAN TERMAL DI RUANGAN TERPAPAR PANAS MATAHARI

MECHANICAL VENTILATION OPTIMIZATION FOR THERMAL COMFORT IN SUN-EXPOSED ROOMS

Pramadhony[1)*], Tri Woro Setiati[2)], Parngongo Turnip[3)], Imam Akbar[1)], Rakhmat Dwi Sampurno[4)], Fadhil Fuad Rachman[1)]

[1)]Prodi. Teknik Mesin Universitas Tridinanti,
Jl. Kapten Marzuki No.2446, Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia
[2)]Prodi. Arsitektur Universitas Tridinanti,
Jl. Kapten Marzuki No.2446, Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia
[3)]Mahasiswa Prodi. S-1 Teknik Mesin Universitas Tridinanti,
Jl. Kapten Marzuki, Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia
[4)]Prodi. Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Politeknik Negeri Sriwijaya,
Jl. Srijaya Negara, Bukit Besar Palembang 30139, Indonesia
[*]email corresponding: dhonypplh@gmail.com

INFORMASI ARTIKEL

Diperbaiki:
Revised
12/06/2025

Diterima:
Accepted
28/06/2025

Publikasi Online:
Online-Published
06/30/2025

©2025 The Authors. Published by AUSTENIT (Indexed in SINTA)

doi:

10.53893/austenit.v17i1.10711

ABSTRAK

Perubahan iklim memberikan dampak terhadap kondisi termal, baik di luar maupun di dalam ruangan. Dampak ini dapat menyebabkan peningkatan suhu ruangan secara signifikan, yang pada akhirnya menurunkan tingkat kenyamanan termal. Kenyamanan termal sendiri berpengaruh terhadap kondisi psikologis, kualitas tidur, dan produktivitas manusia secara keseluruhan. Faktor-faktor seperti sumber panas, bentuk dan struktur bangunan, serta kinerja sistem ventilasi turut menentukan kondisi termal dalam ruangan. Oleh sebab itu, diperlukan optimalisasi perangkat exhaust fan yang tidak hanya mampu meningkatkan kenyamanan termal, tetapi juga efisien dalam konsumsi energi untuk meminimalisir biaya operasional dan mitigasi emisi gas rumah kaca (GRK). Dalam penelitian ini, digunakan metode simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) untuk mengevaluasi pengaruh posisi exhaust fan terhadap suhu ruangan, khususnya pada ruangan dengan dinding yang terkena paparan sinar matahari. Hasil dari studi ini diharapkan dapat memberikan panduan dalam merancang tata letak ventilasi yang efektif dalam menciptakan kenyamanan termal serta mendukung prinsip bangunan hemat energi dan berkelanjutan. Temuan penelitian menunjukkan bahwa posisi exhaust fan memiliki peran penting terhadap kenyamanan termal; semakin dekat posisinya dengan sumber panas, semakin besar volume udara yang mengalir untuk menjaga kestabilan suhu dan mencegah penyebaran panas ke seluruh ruangan.

***Kata Kunci** : Kenyamanan Termal, Aliran Udara, Ventilasi Mekanis (Exhaust Fan)*

ABSTRACT

Climate change has increasingly influenced thermal dynamics in both outdoor and indoor environments, leading to elevated indoor temperatures that can significantly compromise occupant thermal comfort. This comfort is intrinsically linked to psychological well-being, sleep quality, and overall productivity. Indoor thermal conditions are governed by multiple parameters, including internal and external heat gains, building envelope characteristics, and the effectiveness of ventilation systems. In response, the deployment and optimization of exhaust fan systems have become essential strategies in architectural and HVAC design to ensure better indoor environmental quality (IEQ). Moreover, energy-efficient mechanical systems are critical for minimizing operational energy consumption and also for mitigating greenhouse gas (GHG) emissions associated with building operations. This study employs Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations to analyze

the influence of mechanical ventilation placement on indoor temperature distribution, with a specific focus on enclosures with solar-exposed walls. The findings aim to inform design strategies for ventilation layout optimization that enhance thermal comfort while supporting energy-efficient and sustainable building practices. The research findings indicate that the position of the exhaust fan plays a crucial factor in thermal comfort. When it's placed near to the heat source, it provides higher airflow near to the heat source that helps maintain temperature stability and prevent the spread of heat throughout the room.

Keywords : *Thermal Comfort, Airflow Pattern, Mechanical Ventilation*

1 PENDAHULUAN

Berdasarkan perkembangan di beberapa dekade terakhir, isu pemanasan global telah menjadi perhatian utama di seluruh dunia, ditandai dengan meningkatnya suhu permukaan bumi secara signifikan. Salah satu penyebab utama dari fenomena ini adalah terus bertambahnya beban emisi gas rumah kaca (GRK). Emisi GRK ini dapat menyerap dan memerangkap panas di atmosfer, sehingga memicu kenaikan suhu global secara sistematis. Salah satu sumber emisi GRK (CO_2) ini terutama berasal dari berbagai aktivitas manusia, seperti penggunaan bahan bakar fosil, serta aktivitas rumah tangga, sektor industri dan transportasi (Suhadi et al., 2013). Mengingat dampaknya yang luas terhadap lingkungan dan kesehatan manusia, penggunaan teknologi rendah emisi seperti energi terbarukan dan sistem hemat energi menjadi solusi yang mendesak untuk diterapkan (Maulida, 2024). Apabila tidak ditangani dengan bijak, peningkatan emisi ini akan terus memperburuk suhu bumi, menurunkan kenyamanan termal, serta membahayakan kesehatan manusia dan kestabilan ekosistem global (Graciela, 2023). Teknologi rendah emisi ini dapat mengadopsi sistem otomatis yang didukung dengan sensor Gerak dan Cahaya berbasis Arduino (Sujito et al., 2022).

Kondisi pemanasan global yang terus memburuk ini berdampak langsung pada kualitas udara dan kenyamanan di dalam ruangan, terutama di wilayah beriklim tropis yang secara alami memiliki suhu udara tinggi. Kenaikan suhu global akibat emisi GRK memperparah kondisi termal di dalam bangunan, menyebabkan peningkatan suhu ruangan yang signifikan (Lei et al., 2022). Situasi ini berdampak besar terhadap kenyamanan termal penghuni, yang pada gilirannya dapat memengaruhi produktivitas kerja, kualitas tidur, dan bahkan kesehatan fisik maupun mental (Valancius & Andrius, 2013). Oleh karena itu, penting untuk merancang strategi pengelolaan suhu ruangan melalui penerapan teknologi HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) yang efisien dan sesuai kebutuhan. Sistem HVAC yang dirancang dan dikontrol dengan cerdas tidak hanya menciptakan kenyamanan termal, tetapi juga mampu menekan konsumsi energi serta mengurangi jejak emisi GRK jika dikombinasikan dengan sumber energi terbarukan (Sakhri et al., 2022)

Dalam konteks ini, pemilihan jenis dan sistem HVAC yang digunakan menjadi aspek penting yang perlu diperhatikan. Berbagai jenis perangkat HVAC memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing dalam memberikan kenyamanan termal. Pada umumnya, *Air Conditioner* (AC),lebih banyak digunakan karena kemampuannya dalam menurunkan suhu dengan cepat dan efektif, terutama di daerah tropis. Namun, penggunaan AC memiliki konsekuensi besar, terutama pada konsumsi energi listrik dan sangat berkontribusi terhadap terjadinya emisi GRK (Febrina et al., 2021). Di samping itu, tingginya biaya operasional dan perawatan AC menjadi beban tersendiri, khususnya bagi masyarakat dengan kelas menengah ke bawah, sehingga dapat mengganggu operasional ekonomi rumah tangga (De Cian et al., 2025). Sistem ventilasi memberikan alternatif solusi yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan mendukung penggunaan energi secara berkelanjutan. Jika dirancang secara tepat, sistem ventilasi dapat meningkatkan sirkulasi udara, menurunkan suhu ruangan secara pasif, serta meminimalkan ketergantungan terhadap sistem pendingin yang boros energi (Rizzo et al., 2024).

Untuk memastikan efektivitas pengelolaan suhu ruangan, perlu dilakukan penelitian mendalam terhadap berbagai faktor yang memengaruhi peningkatan suhu di dalam ruang. Suhu ruang tidak hanya dipengaruhi oleh kondisi eksternal, tetapi juga oleh faktor internal seperti geometri ruangan, pola sirkulasi udara, dan keberadaan sumber panas di sekitar. Selain itu adanya perbedaan ketinggian lubang ventilasi juga berdampak secara signifikan terhadap sirkulasi udara (Setiati & Pramadhony, Febrina, 2025). Salah satu penyebab utama akumulasi panas di dalam ruangan adalah paparan sinar matahari langsung pada bagian dinding, yang kemudian bertindak sebagai sumber panas. Berdasarkan permasalahan yang terjadi di

Masyarakat tersebut, penelitian ini difokuskan untuk menganalisis kontribusi elemen-elemen fisik tersebut terhadap suhu ruangan dan mengevaluasi efektivitas penggunaan sistem HVAC yang hemat energi serta rendah emisi GRK. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat diperoleh rekomendasi yang komprehensif dalam pengelolaan kenyamanan termal ruangan yang berkelanjutan, sekaligus mendukung kebijakan mitigasi perubahan iklim.

2. BAHAN DAN METODA

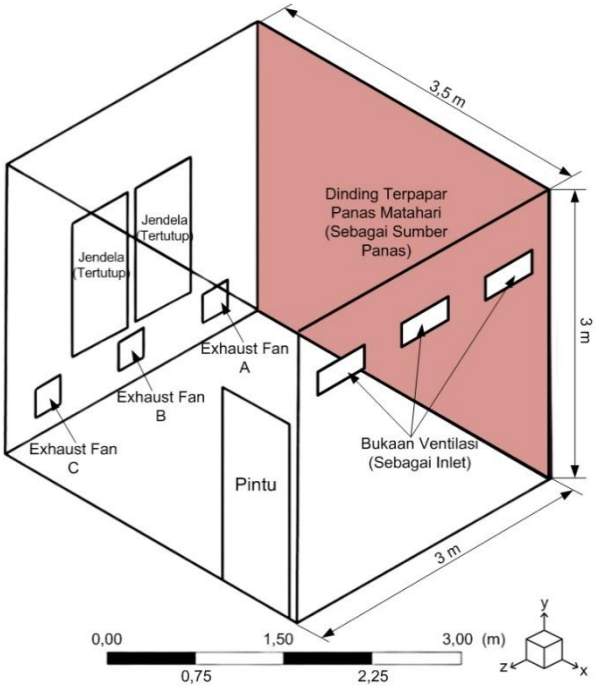
Penelitian ini dilaksanakan pada sebuah ruangan berukuran 3 m × 3,5 m, dan tinggi ruangan 3 m. Salah satu sisi dinding ruangan diasumsikan menerima paparan langsung sinar matahari, sehingga suhu permukaan luar dinding tersebut mencapai 40 ºC. Dinding tersebut diasumsikan terbuat dari bata merah dengan tebal 10 cm serta memiliki densitas, konduktivitas termal dan panas spesifik masing-masing sebesar 1737 kg/m3, 0,0501 W/m-K dan 0,9468 kJ/kg-K (Rawal et al., 2022). Panas masuk melalui kombinasi perpindahan panas konduksi (melalui dinding) dan konveksi (melalui pergerakan udara didalam ruangan). Perpindahan panas konduksi di dalam ruangan ditunjukkan dengan persamaan berikut:

$$q = K\,A\,\frac{\Delta t}{x}$$

Panas dari dinding bagian dalam akan menyebar kedalam ruangan dan didinginkan/dijaga temperaturnya melalui aliran udara atau secara konveksi. Besarnya efektifitas koefisien perpindahan panas ini dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$h = \frac{q}{A\,\Delta t}$$

Untuk mengurangi masuknya panas dari dinding tersebut, digunakan *exhaust fan* yang memiliki total laju pertukaran udara sebesar 1 *Air Change per Hour* (ACH), atau setara dengan 31,5 m³ per jam. *Exhaust fan* dipasang pada bagian bawah dinding dengan ketinggian 35 cm dari lantai, sedangkan ventilasi udara masuk (*inlet*) ditempatkan di bagian atas ruangan untuk menghasilkan aliran udara yang lebih merata. Udara yang masuk diasumsikan bersuhu nyaman, yaitu 25ºC. Gambar 1 memperlihatkan dimensi umum ruangan, sementara itu Tabel 1 menampilkan berbagai posisi pemasangan *exhaust fan* yang diuji dalam penelitian ini. Variasi tersebut bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh jarak *exhaust fan* terhadap sumber panas serta efektivitasnya dalam mendistribusikan udara dan mengatur suhu di dalam ruangan. *Exhaust Fan* (EF) pada posisi A, B dan C atau EF. A, EF. B, dan EF. C, masing-masing menunjukkan *exhaust fan* pada posisi A, B, dan C seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



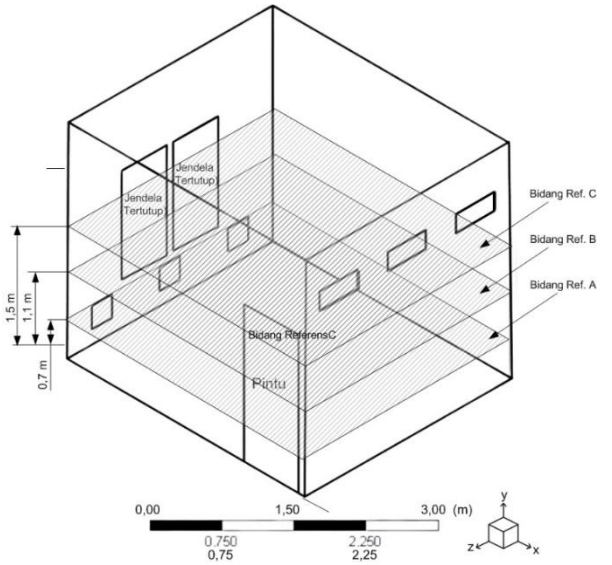
Gambar 1. *Kondisi Batas Penelitian*

Tabel 1. Faktor-Faktor Eksperimen

	Volume Air (m³/Jam)			
	EF. A	EF. B	EF. C	Total
Var. A	31,5	-	-	31,5
Var. B	-	31,5	-	31,5
Var. C	-	-	31,5	31,5
Var. D	15,75	-	15,75	31,5
Var. E	10,5	10,5	10,5	31,5

Pada penelitian ini akan menganalisa pengaruh posisi *exhaust fan* terhadap sumber panas (dinding yang terpapar panas matahari) terhadap sebaran panas di dalam ruangan. Aliran udara ini akan dilihat pengaruhnya dalam membuang panas yang masuk kedalam ruangan. Ada tiga posisi tinggi permukaan yang dijadikan referensi dalam menentukan tingkat kenyamanan termal ruangan yaitu 0,7 m, 1,1 m dan 1,5 m (Sharma & Kumar, 2020). Gambar 2 menunjukkan posisi bidang permukaan yang digunakan dalam penelitian ini.

Untuk keperluan Analisa CFD, *mesh* dengan ukuran 10 mm – 34 dibuat pada geometri ruangan. Model viskos yang digunakan pada penelitian ini adalah k-Ω *Shear Stress Transport* (SST) yang telah direkomendasikan untuk digunakan pada simulasi aliran udara di dalam ruangan (Longxiang Dong, Hongchao Zuo*, Liang Hu, Bin Yang, Licheng Li, 2016). Analisa ini dilakukan sampai dicapai konvergensi dengan residual sebesar 0,0001.

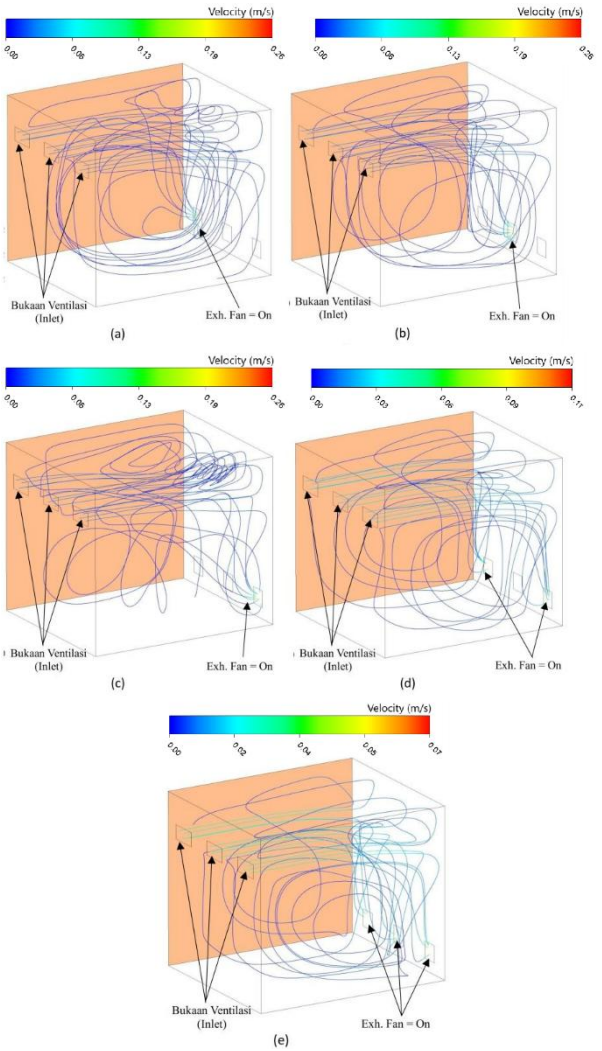


Gambar 2. *Posisi Bidang Referensi Penelitian*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

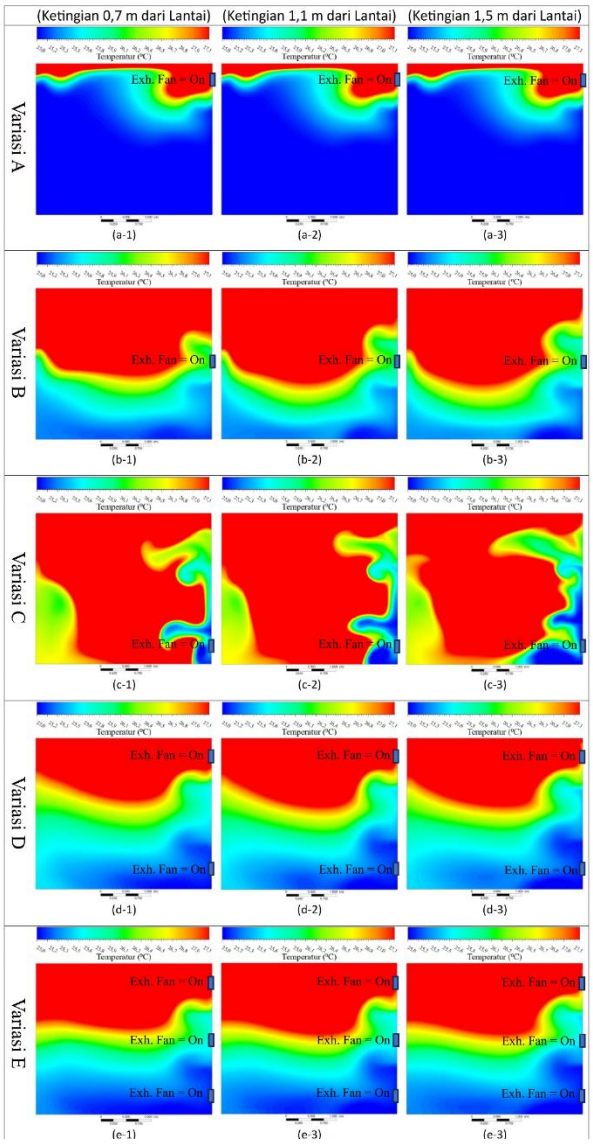
Gambar 3 memperlihatkan pola pergerakan udara di dalam ruangan yang terbentuk akibat penggunaan *exhaust fan* dengan berbagai posisi relatif terhadap sumber panas. Pola aliran ini berfungsi untuk menyebarkan suhu secara merata ke seluruh ruangan. Salah satu tujuan dari aliran udara ini adalah untuk menyerap panas dari dinding yang terpapar panas matahari. Proses penyerapan panas ini terjadi karena adanya perbedaan temperatur antara udara masuk (25 °C) dan temperatur permukaan luar dinding (40 °C). Perbedaan pola aliran udara ini akan menentukan efektivitas penyerapan dan pembuangan panas yang masuk ke dalam ruangan.

Berdasarkan hasil simulasi CFD didapatkan sebaran temperatur udara seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Warna merah pada gambar menunjukkan area dengan temperatur melebihi batas suhu nyaman hangat (27,1 °C) sesuai ketentuan SNI 03-6572-2001 yang mengatur standar perancangan sistem HVAC pada bangunan gedung. Berdasarkan visualisasi ini, posisi optimal *exhaust fan* adalah di dekat dinding yang terkena sinar matahari (Variasi A), yang ditandai dengan area merah yang lebih sedikit. Sebaliknya, penempatan yang paling tidak efektif adalah saat *exhaust fan* berada paling jauh dari sumber panas (Variasi C). Pemasangan dua atau tiga *exhaust fan* (Variasi D dan E) masih menunjukkan cukup banyak area dengan suhu di atas ambang nyaman, terutama di sekitar sumber panas. Pada kedua variasi ini, kenyamanan termal diperoleh melalui besarnya jumlah aliran udara yang melewati area tersebut.



Gambar 3. *Pola Aliran Udara di Dalam Ruangan (a) Pada Variasi A, (b) Variasi B. (c) Variasi C. (d) Posisi Variasi D. (e) Variasi E*

Perbandingan kinerja variasi posisi *exhaust fan* secara keseluruhan ditunjukkan oleh Tabel 2 dan Gambar 5. Tabel 2 memperlihatkan suhu rata-rata dalam ruangan pada berbagai ketinggian dari lantai. Dari data tersebut, diketahui bahwa suhu terendah terjadi saat *exhaust fan* dipasang paling dekat dengan sumber panas. Pada posisi ini, rata-rata suhu cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya jarak dari *exhaust fan*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Sebaliknya, pada variasi posisi *exhaust fan* yang letaknya lebih jauh dari sumber panas, suhu rata-rata menunjukkan pola yang tidak stabil, menandakan berkurangnya efektivitas *exhaust fan* dalam menjaga suhu ruangan. Di sisi lain, kombinasi pemasangan *exhaust fan* di beberapa posisi (Variasi D dan E) cenderung menghasilkan distribusi suhu yang lebih merata di dalam ruangan, mencerminkan sirkulasi udara yang lebih baik, meskipun rata-rata suhunya masih lebih tinggi dibandingkan dengan Variasi A.

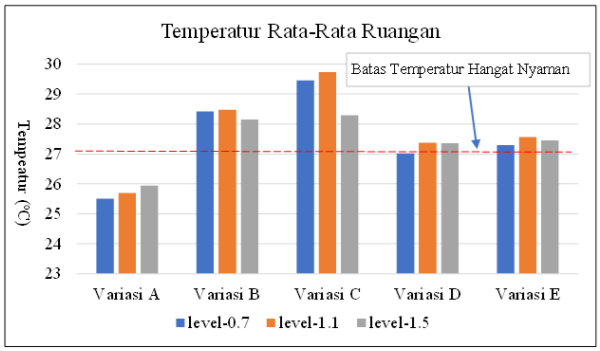


Gambar 4. *Kontur Temperatur di Dalam Ruangan*

Kinerja *exhaust fan* juga didasarkan pada besarnya koefisen perpindahan panas secara konveksi. Perbedaan besarnya aliran udara di sekitar dinding menyebabkan perbedaan temperatur dinding bagian dalam ruangan. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan jumlah energi panas yang masuk secara konduksi. Pada Variasi A, energi panas yang masuk ke dalam ruangan lebih besar dibanding variasi yang lain. Tingginya nilai koefisien perpindahan panas konveksi (*h*) menandai kemampuan *exhaust fan* dalam mengeluarkan panas yang terserap kedalam ruangan. Berdasarkan hasil perhitungan, dapat dilihat bahwa Variasi A memberikan koefisien perpindahan panas yang tertinggi yaitu sebesar 0,2325 Watt/m^{2}K. Besarnya panas yang masuk kedalam ruangan dan besarnya koefisien panas konveksi pada setiap variasi ditunjukkan pada Tabel. 3. Pada tabel ini panas yang masuk dan koefisien perpindahan panas konveksi dinotasikan sebagai *q* dan *h*.

Tabel 2. Rata-Rata Suhu Ruangan pada Berbagai Variasi Posisi Exhaust Fan Berdasarkan Ketinggian dari Permukaan Lantai

Level Ketinggian dari Lantai	Suhu Rata-Rata (ºC)				
	Variasi A	Variasi B	Variasi C	Variasi D	Variasi E
level-0.7	25,5	28,4	29,5	27,0	27,3
level-1.1	25,7	28,5	29,7	27,4	27,6
level-1.5	25,9	28,1	28,3	27,4	27,5
Rata-rata	25,7	28,3	29,2	27,3	27,4



Gambar 5. *Grafik Temperatur Rata-Rata Berdasarkan Ketinggian Dari Lantai*

Tabel 3. Temperatur Rata-Rata Luar Dindin, Dalam Dinding, Perpindahan Panas ke Dalam Ruangan, dan Koefisen Perpindahan Panas Konveksi.

	Variasi Penelitian				
	Variasi A	Variasi B	Variasi C	Variasi D	Variasi E
T_0 (ºC)	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0
T_1 (ºC)	35,3	36,6	36,7	36,4	36,6
q (Watt)	25,2	18,2	17,6	19,4	18,0
h (Watt/m^{2}K)	0,2325	0,1489	0,1427	0,1626	0,1473

Keterangan:
T_0 = Temperatur luar dinding
T_1 = Temperatur dalam Dinding

4. KESIMPULAN

Optimalisasi sistem *exhaust fan* telah dilakukan guna meningkatkan kenyamanan termal dalam ruangan. Proses ini dilakukan melalui simulasi *Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Dalam penelitian ini, *exhaust fan* ditempatkan pada lima variasi posisi berbeda untuk mengetahui pengaruhnya terhadap suhu ruangan, terutama yang berasal dari dinding yang terkena paparan sinar matahari. Udara bersuhu 25 °C dialirkan ke dalam ruangan melalui ventilasi sebagai bagian dari sistem untuk menjaga kenyamanan termal.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa posisi pemasangan *exhaust fan* sangat berpengaruh terhadap distribusi suhu dan tingkat kenyamanan di

dalam ruangan. Posisi yang paling efektif adalah ketika *exhaust fan* diletakkan dekat dengan sumber panas (Variasi A), yang menghasilkan suhu rata-rata sekitar 25,7 °C. Sebaliknya, ketika *exhaust fan* dipasang jauh dari sumber panas (Variasi C), panas dari dinding lebih mudah menyebar ke dalam ruangan sehingga suhu meningkat hingga 29,2 °C, melewati batas suhu nyaman yang direkomendasikan, yaitu 27,1 °C.

Koefisien perpindahan panas secara konveksi pada Variasi A memiliki nilai tertinggi, yaitu sebesar 0,2325 Watt/m^{2}K. Hal ini menunjukkan posisi yang paling efektif adalah Variasi A dibandingkan yang lain. Untuk penelitian lanjutan diperlukan pengamatan terhadap sebaran aliran udara di sekitar area yang terpapar panas. Analisis lanjutan ini bertujuan untuk mengetahui strategi dalam meminimalisir penyebaran panas ke seluruh ruangan.

DAFTAR PUSTAKA

De Cian, E., Falchetta, G., Pavanello, F., Romitti, Y., & Sue Wing, I. (2025). The impact of air conditioning on residential electricity consumption across world countries. *Journal of Environmental Economics and Management*, *131*, 1–37. https://doi.org/10.1016/j.jeem.2025.103122

Febrina, L., Wahyudi, D., & Harki, R. D. (2021). Kajian Emisi CO2 Berdasarkan Jejak Karbon Sekunder di Lingkungan Universitas Sahid Jakarta. *Jurnal Sustainable Environment Optimizing Industri (SEOI)*, *3*(1), 40–49. https://doi.org/https://doi.org/10.36441/seoi.v3i1.435

Graciela, F. (2023). *The Impact of Global Warming on Earth ' s Ecosystems and Future Sustainability*. *5*(2), 461–469. https://influence-journal.com/index.php/influence/index%0AThe

Lei, M., Hooff, T. Van, Blocken, B., & Roders, A. P. (2022). *The predicted effect of climate change on indoor overheating of heritage apartments in two different Chinese climate zones*. *31*(7), 1986–2006. https://doi.org/10.1177/1420326X221085861

Longxiang Dong, Hongchao Zuo*, Liang Hu, Bin Yang, Licheng Li, L. W. (2016). Simulation of heavy gas dispersion in a large indoor space using CFD model. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, *46*.

Maulida, A. (2024). *The Impact of Renewable Energy on Climate Change : A Literature Review*. *1*(1), 16–23. https://doi.org/PACC.2023, VOLUME 1, ISSUE 1 https://doi.org/10.61511/pacc.v1i1.2024.621

Rawal, R., Maithel, S., Shukla, Y., Kumar, S., Gowri, G., Rana, S., & Vardhan, V. (2022). *Thermal Properties Database of Building Materials and Technologies*. Greentech Knowledge Solutions Pvt. Ltd. CEPT Research and Development Foundation CEPT University. https://www.bmtpc.org/DataFiles/CMS/file/PDF_Files/ThermalProperitiesOfBldg_Material_Tech_v1.pdf

Rizzo, K., Camilleri, M., Gatt, D., & Yousif, C. (2024). Optimising Mechanical Ventilation for Indoor Air Quality and Thermal Comfort in a Mediterranean School Building. *Sustainability (Switzerland)*, *16*(2). https://doi.org/10.3390/su16020766

Sakhri, N., Ahmad, H., Shatanawi, W., Menni, Y., Ameur, H., & Botmart, T. (2022). Different scenarios to enhance thermal comfort by renewable-ecological techniques in hot dry environment. *Case Studies in Thermal Engineering*, *32*(February), 101886. https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.101886

Setiati, T. W., & Pramadhony, Febrina, S. E. (2025). Pengaruh Lower-Ventilation terhadap Aliran Udara Ruang Dalam pada Bangunan Rumah Tinggal Sederhana di Daerah Tropis Lembab. *TEKSTUR: Jurnal Arsitektur*, *6*(1), 9–19. https://ejurnal.itats.ac.id/tekstur/article/view/6712/pdf

Sharma, A., & Kumar, P. (2020). Quantification of air pollution exposure to in-pram babies and mitigation strategies. *Environment International*, *139*(February), 105671. https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105671

Suhadi, D. R., Febrina, Anissa S, Prabang Setyono, Widhi Himawan, Pramadhony, Aditya Mahalana, M. Zakaria, L., & Krisnawati, John HP. Tambun, M. Harsono, Tengku Rena, Rhesa Darojat, R. M. R. (2013). Pedoman Teknis Penyusunan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara di Perkotaan. *Pedoman Teknis Penyusunan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara Di Perkotaan*, 1–153. https://ppkl.menlhk.go.id/website/filebox/609/190710181542PEDOMAN TEKNIS PENYUSUNAN INVENTARISASI EMISI.pdf

Sujito, S., Dwi Mardika, A. R., & Nugroho, Z. S. (2022). Analisa Kapasitas dan Kebutuhan Daya Listrik untuk Mengoptimalkan Penggunaan Energi Listrik di Gedung G4 Universitas Negeri Malang. *Austenit*, *14*(1), 17–23. https://doi.org/10.53893/austenit.v14i1.4490

Valancius, R., & Andrius, J. (2013). *Influence of Indoor Air Temperature Variation on Office*. *21*(1), 19–25. https://doi.org/10.3846/16486897.2012.721371