

Analisis Penggunaan *Blower* Terhadap Desain Kenyamanan Termal Rumah Instan Sederhana Sehat di Kota Surakarta Dengan Metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

Ardhana Raka Pramudya^{1*}, Wahyu Riyanto², Fuad Hilmy³, Raka Mahendra Sulistiyo⁴

^{1,2,3,4}Universitas Tidar, Magelang

*Penulis Korespondensi, email: dhanaaraka@students.untidar.ac.id

Received: 06/06/2025

Revised: 19/06/2025

Accepted: 19/06/2025

Abstract. Thermal comfort is a crucial aspect in supporting the health and productivity of occupants, especially in tropical regions affected by the Urban Heat Island (UHI) phenomenon. This study aims to analyze the thermal performance of the Simple Healthy Instant House (RISHA) building in Surakarta City through numerical simulation using the Computational Fluid Dynamics (CFD) method on July 9, 2024. The simulation focuses on two main configurations under open ventilation conditions: the initial (original) condition without intervention, and a scenario with the addition of a fan operating at 1350 rpm. The simulation results show that in the initial condition, the average room temperature reached 31.68°C, exceeding the thermal comfort threshold. After adding the fan, the temperature dropped significantly to an average of 29.60°C, approaching the upper limit of the comfortable warm category. The decrease was not drastic but demonstrated that the fan could enhance the effectiveness of natural ventilation by creating active airflow, accelerating circulation, and efficiently expelling hot air outdoors. This finding proves that the combination of open ventilation and a fan is an effective and efficient thermal solution for improving room comfort in tropical modular buildings like RISHA. This strategy is highly relevant for implementation in areas affected by the Urban Heat Island (UHI) effect, serving as a passive-active intervention to maintain thermal comfort in hot environmental conditions.

Keywords: Thermal comfort, RISHA, Urban Heat Island, Fan

Abstrak. Kenyamanan termal merupakan aspek krusial dalam mendukung kesehatan dan produktivitas penghuni, terutama di wilayah tropis yang terdampak fenomena *Urban Heat Island* (UHI). Penelitian ini bertujuan menganalisis performa termal bangunan Rumah Instan Sederhana Sehat (RISHA) di Kota Surakarta melalui simulasi numerik menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) pada tanggal 9 Juli 2024. Fokus simulasi diarahkan pada dua konfigurasi utama dalam kondisi ventilasi terbuka, yaitu kondisi awal (*original*) tanpa intervensi, dan skenario penambahan *fan* berkecepatan 1350 rpm. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada kondisi awal, suhu rata-rata ruangan mencapai 31,68°C, yang berada di atas ambang batas kenyamanan termal. Setelah penambahan *fan*, suhu berhasil turun secara signifikan menjadi rata-rata 29,60°C, mendekati batas atas kategori hangat nyaman. Penurunan tidak terjadi drastis namun menunjukkan bahwa *fan* mampu meningkatkan efektivitas ventilasi alami dengan menciptakan aliran udara aktif, mempercepat sirkulasi, dan membantu membuang udara panas secara efisien ke luar ruangan. Temuan ini membuktikan bahwa kombinasi antara ventilasi terbuka dan *fan* merupakan solusi termal yang efektif dan efisien dalam meningkatkan kenyamanan ruang pada bangunan modular tropis seperti RISHA. Strategi ini sangat relevan diterapkan di wilayah yang terdampak UHI, sebagai bentuk intervensi pasif-aktif untuk mempertahankan kenyamanan termal dalam kondisi lingkungan yang panas.

Kata Kunci: Kenyamanan termal, RISHA, *Urban Heat Island*, *Fan*

I. PENDAHULUAN

Pertumbuhan mobilitas dan populasi penduduk di kota besar menunjukkan tren yang semakin meningkat. Diperkirakan populasi dunia akan mencapai 6,5 miliar jiwa pada tahun 2050, dengan setengahnya tinggal di kawasan perkotaan [1].

Lonjakan jumlah penduduk tersebut berdampak langsung terhadap tingginya kebutuhan akan perumahan. Di Indonesia, dengan jumlah penduduk yang telah melebihi 265 juta jiwa, kebutuhan terhadap rumah tinggal diproyeksikan terus meningkat dari tahun ke tahun [2]. Di sisi lain,

urbanisasi yang masif telah memicu perubahan tata guna lahan, sehingga menyebabkan penurunan vegetasi dan peningkatan permukaan terbangun yang memperparah fenomena *Urban Heat Island* (UHI).

Fenomena UHI terjadi karena adanya perbedaan penggunaan lahan antara kawasan perkotaan dan pedesaan. Di Kota Surakarta, permukiman meningkat sebesar 62,59 ha, perusahaan 19,6 ha, dan industri 0,23 ha, sementara sawah dan tegalan mengalami penurunan masing-masing 39,6 ha dan 16,74 ha [3]. Berdasarkan data BMKG, suhu rata-rata Indonesia selama periode 1991–2020 adalah 26,7°C, sedangkan pada tahun 2024 tercatat mencapai 27,5°C, menunjukkan anomali sebesar 0,8°C [4]. Tahun 2024 juga tercatat sebagai tahun terpanas sejak 1981. Kota Surakarta sendiri memiliki suhu rata-rata bulanan antara 25,7°C hingga 28,2°C, dengan suhu maksimum mencapai 35°C pada Oktober. Kondisi termal ekstrem ini tidak hanya berdampak pada lingkungan luar, tetapi juga meningkatkan suhu dalam bangunan dan menurunkan kenyamanan termal penghuninya.

Rumah tidak hanya berfungsi sebagai tempat tinggal, tetapi juga memiliki peran penting dalam menyediakan kenyamanan termal dan mendukung kualitas hidup yang sehat. Di Indonesia yang beriklim tropis lembab, dengan suhu udara dapat mencapai 38°C dan kelembaban relatif di atas 90%, diperlukan desain hunian yang mampu menyesuaikan dengan kondisi tersebut [5]. Salah satu strategi penting adalah perancangan ventilasi mekanis untuk memperlancar sirkulasi udara dan mengurangi akumulasi panas. Salah satu model hunian yang telah diterapkan adalah Rumah Instan Sederhana Sehat (RISHA), yaitu sistem bangunan modular berbasis beton bertulang yang efisien, cepat bangun, dan ramah lingkungan [6]. Meskipun telah memenuhi standar Kepmen Kimpraswil No.403/KPTS/M/2003, RISHA memiliki kekurangan dari sisi ventilasi yang terbatas, sehingga berpengaruh terhadap distribusi suhu dalam ruang [7].

Observasi lapangan pada unit RISHA di Surakarta pada 09 Juli 2024 menunjukkan suhu

dalam ruang mencapai 31,15°C, sedangkan suhu luar tercatat 32,4°C saat siang hari yang terik dan berangin. Kondisi ini menurunkan kenyamanan penghuni, dan mendorong perlunya penggunaan *blower* sebagai pendingin tambahan. Namun, penggunaan *blower* tanpa kontrol yang tepat dapat meningkatkan konsumsi energi, biaya listrik, dan emisi karbon. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi desain bangunan yang tidak hanya mengandalkan ventilasi alami, tetapi juga menggunakan sistem sirkulasi udara aktif secara efisien. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk menilai performa termal bangunan adalah *Computational Fluid Dynamics* (CFD), yaitu metode numerik untuk menganalisis distribusi aliran udara dan temperatur dalam ruang [8].

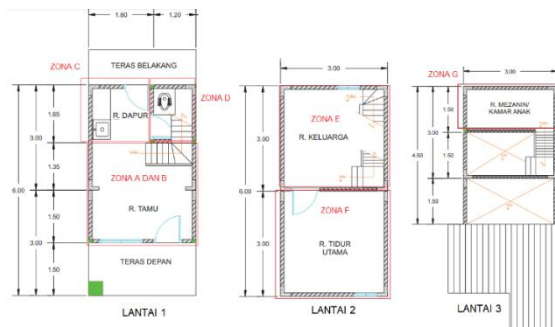
Penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah penelitian terkait kinerja termal bangunan modular tropis seperti RISHA, dengan menganalisis pengaruh *blower* dalam waktu satu jam dengan minimal *airflow rate* terhadap kenyamanan termal. Studi ini dilakukan menggunakan simulasi numerik berbasis CFD untuk mengevaluasi kondisi termal pada konfigurasi ruang tertutup tanpa intervensi *blower* dan terbuka dengan intervensi *blower*. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan desain rumah tropis yang hemat energi, adaptif terhadap kondisi lingkungan, dan mampu menghadapi dampak UHI secara efisien.

II. METODOLOGI

Penelitian ini merupakan studi deskriptif kuantitatif yang menggunakan pendekatan observasi lapangan dan simulasi numerik. Data primer diperoleh melalui pengukuran langsung pada salah satu unit rumah Blok B11 di kawasan RISHA Surakarta, yang dipilih secara purposif karena memiliki kondisi paling representatif yakni tidak berhadapan langsung dengan unit lain, sehingga minim gangguan eksternal dari bangunan sekitar. Pengukuran dilakukan untuk memperoleh data suhu udara, kecepatan angin, serta suhu permukaan dinding dan plafon. Instrumen yang digunakan meliputi termometer ruangan untuk mencatat suhu udara, anemometer untuk mengukur kecepatan angin di dalam ruangan, serta *thermogun* (*infrared*

thermometer) untuk mengetahui distribusi suhu permukaan pada bidang padat seperti dinding dan plafon.

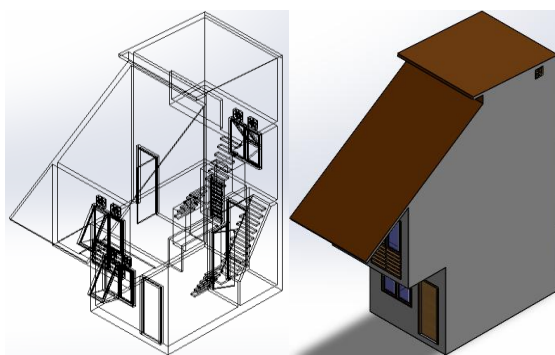
A. Model Geometry



Gambar 1. Denah bangunan RISHA

Pada Gambar 1 denah dari RISHA, memiliki ruang yang berbeda-beda. Berikut keterangannya:

1. Ruang tamu (zona A dan B):
 $P.L = 2,85 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 8,55 \text{ m}^2$ (1)
2. Dapur (zona C):
 $P.L = 1,8 \text{ m} \times 1,65 \text{ m} = 2,97 \text{ m}^2$ (2)
3. Kamar mandi (zona D):
 $P.L = 1,65 \text{ m} \times 1,2 \text{ m} = 1,98 \text{ m}^2$ (3)
4. Ruang keluarga (zona E):
 $P.L = 3 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 9 \text{ m}^2$ (4)
5. Ruang tidur utama (zona F):
 $P.L = 3 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 9 \text{ m}^2$ (5)
6. Ruang kamar anak dan mezanin (zona G):
 $P.L = 1,5 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 4,5 \text{ m}^2$ (6)



Gambar 2. Geometri bangunan RISHA

Pada Gambar 2 geometri bangunan tiga lantai dimodelkan menggunakan *software* CAD, mencakup detail interior seperti dinding, pintu, tangga, furnitur, dan zona aktivitas manusia. Model kemudian diekspor ke *software* CAE untuk proses simulasi.

B. Data Pengamatan Lapangan

Berdasarkan data pengamatan lapangan yang telah dilakukan, diperoleh informasi temperatur rata-rata luar ruang yaitu 31,15 dengan *air velocity* 1,2 m/s. Pada temperatur rata-rata dalam ruang yaitu 32,4°C dengan *air velocity* 0,07 m/s. Pengukuran dilakukan dalam ruang kondisi termal aktual pada bangunan RISHA, meliputi suhu permukaan material, data ini juga menjadi dasar dalam menyusun variasi skenario simulasi termal yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Pengukuran data lapangan

Zone Name	Temperature (°C)
Ruang tamu (A dan B)	30,65
Dapur (C)	30,5
Kamar mandi (D)	30,8
Ruang keluarga (E)	31
Ruang tidur utama (F)	31,1
Kamar anak (G)	31,2

Tabel 2. Standar kenyamanan termal

Kategori	Temperature Efektif (TE)	Ambang Atas (TE)	[9]
Sejuk Nyaman	20,5°C – 22,8°C	24°C	
Nyaman Optimal	22,8°C – 25,8°C	28°C	
Hangat Nyaman	25,8°C – 27,1°C	31°C	

Berdasarkan data lapangan, seluruh ruangan memiliki suhu di atas ambang batas kenyamanan termal. Suhu tertinggi tercatat di kamar anak (31,2°C) dan terendah di dapur (30,5°C), yang semuanya melebihi batas kategori hangat nyaman (27,1°C). Artinya, tidak ada zona yang memenuhi standar kenyamanan termal, sehingga diperlukan intervensi desain untuk menurunkan suhu ruang.

C. Validasi Simulasi

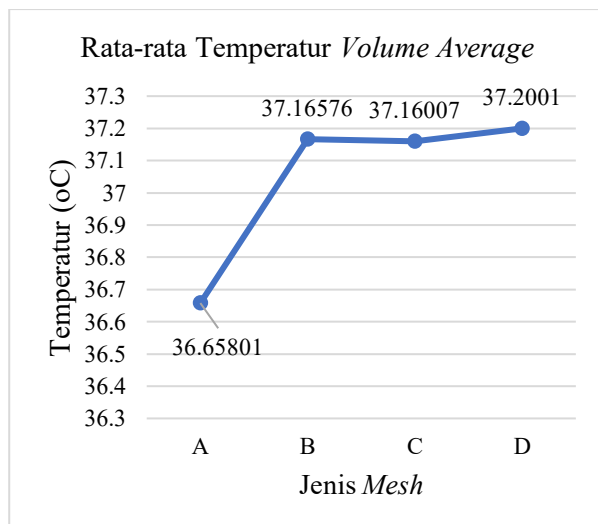
Pada validasi pertama dilakukan *grid independence* memastikan hasil simulasi tidak bergantung jumlah elemen *mesh* (*grid*) yang digunakan. Dapat dilakukan proses simulasi pada beberapa tingkat resolusi *mesh* (kasar, sedang, halus), membandingkan parameter hasil seperti

suhu, kecepatan, dan tekanan. Jika perbedaan antara *mesh* sedang dan halus < 5%, maka hasil dianggap stabil dan independen terhadap *grid* [10].

Tabel 3. Kekasaran *grid independence mesh*

Jenis Mesh	Node	Meshed
A	231600	112761
B	239794	116805
C	286269	140007
D	336142	164967

Pada Tabel 3 dan Bagan 1 perbedaan terbesar terjadi antara *mesh* A dan B sebesar 1,53%, sementara antara B dan C hanya 0,02%. Karena hasil sudah stabil pada *mesh* C dan peningkatan akurasi pada *mesh* D tidak signifikan, maka *mesh* C dipilih sebagai *mesh* optimal. Selain memberikan hasil yang akurat, *mesh* C juga lebih efisien secara komputasi dibanding *mesh* D, dapat mempercepat waktu simulasi tanpa mengorbankan kualitas hasil.



Bagan 1. Grafik rata-rata temperatur *volume average*

Validasi kedua membandingkan hasil simulasi dengan data lapangan pada pukul 12.00 untuk menguji akurasi model CFD dalam merepresentasikan distribusi suhu aktual.

D. Setup General Models

Simulasi menggunakan *solver pressure-based*, mode *transient*, dan model turbulensi SST k-omega. Radiasi dimodelkan dengan *Discrete Ordinates* (DO) karena mampu menangkap perpindahan panas

multi-arah. Radiasi matahari ditetapkan sebesar 157,46 W/m² (*direct*) dan 104,5 W/m² (*diffuse*) [11]. Parameter radiasi dimasukkan melalui *solar ray tracing and calculator* dengan koordinat geografis lokasi penelitian di Surakarta, yaitu lintang -7,59° (7°34' LS) dan bujur 110,835° (110°49' BT), guna merepresentasikan sudut datang sinar matahari yang sesuai dengan kondisi aktual lokasi. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan hasil simulasi yang mendekati kenyataan, terutama dalam hal distribusi panas akibat paparan sinar matahari sepanjang hari.

E. Setup Material

Pada *material properties* yang digunakan pada *boundary condition*, setiap permukaan bangunan disesuaikan dengan jenis material aktual. Properti termal seperti konduktivitas, densitas, dan kapasitas panas spesifik *input* sesuai karakteristik masing-masing material. Penyesuaian ini bertujuan untuk meningkatkan akurasi hasil simulasi dalam memodelkan distribusi suhu dan perpindahan panas antar permukaan.

Tabel 4. Material boundary conditions

Zone Name	Material
Atap	Galvanized-steel
Ceiling dan dinding	Concrete
Jendela, meja dapur, lemari, roaster, pintu, dan ventilasi	Wood
Kaca	Glass-low-e
Kasur	Foam-polyurethane-flexible
Tangga	Stainless-steel-304
Dinding	Concrete
Lantai	Zirconia

Pada Tabel 4 menunjukkan material pada simulasi, pada *radiation BC type* dipilih *semi-transparent*, untuk *beam direction*, *direct* dan *diffuse irradiation* telah diketahui. Untuk nilai *diffuse fraction* [12]:

$$D_f = \frac{H_d}{H_b + H_d} = \frac{2508}{3779 + 2508} = 0.4 \quad (7)$$

Keterangan:

D_f = diffuse fraction

H_d = diffuse irradiation

H_b = direct irradiation

H_b = altitude

Pada *diffuse fraction* untuk nilai 0 yaitu semua radiasi dianggap langsung, jika bernilai 1 yaitu radiasi dianggap difus. Pada *azimuth angle* (ϕ) yaitu altitude sudut antara arah matahari yaitu 59.07° dan *zenith angle* (θ) merupakan sudut antara arah matahari dan vertikal (sumbu z) melalui perhitungan yaitu [13]:

$$\theta_z = 90^\circ - Alt = 90^\circ - 59.07 = 30.9^\circ \quad (8)$$

F. Penambahan Kebutuhan Fan

Berdasarkan standar dan perhitungan, setiap *fan* yang dipasang harus disesuaikan dengan luasan area ruang yang dilayani, karena tiap zona memiliki kebutuhan aliran udara yang berbeda. Semakin besar volume dan beban panas suatu ruang, maka semakin besar pula kapasitas aliran udara (CFM) yang dibutuhkan.

Tabel 5. Standar *air changer per hour*

ACH (Air Changer Per Hour)		[14]
Ruangan	Pergantian Udara Ideal Per Jam	
Ruang Keluarga	4-6	
Kamar Mandi	2-4	
Dapur	10-15	
Garasi	6-10	
Kamar Tidur	2-4	

Tabel 6. Model standar *fan*

Model	RPM	Airflow Rate		[15]
		m ³ /h	CFM	
EX-20RHK5T	1.350	580	341	
EX-30RHK5T	850	1.140	671	

Tabel 7. Dimensi standar *fan*

Model	A (mm)	ØB (mm)	C (mm)	[15]
EX-20RHK5T	296	240	265	
EX-30RHK5T	396	340	365	

Pada Tabel 5, Tabel 6, dan Tabel 7 pemasangan *fan* dilakukan di tiap lantai sesuai kebutuhan termal Lantai 1 (dapur) difokuskan untuk membuang uap panas hasil aktivitas memasak, lantai 2 (kamar utama) untuk menjaga sirkulasi udara agar tidak

terjadi penumpukan panas, dan lantai 3 (mezanin) sebagai *outlet* pembuangan udara panas ke luar bangunan. Kapasitas *fan* dalam masing-masing skenario ditentukan berdasarkan kebutuhan minimum laju aliran udara (*airflow rate*) yang dihitung dalam satuan CFM (*Cubic Feet per Minute*), guna memastikan efektivitas sistem ventilasi mekanik dalam menunjang kenyamanan termal di setiap lantai [16].

$$CFM = \frac{V \cdot ACH}{60} \quad (9)$$

Keterangan:

ACH = *Air Change Rate per Hour*

CFM = *Cubic Feet per Minute*

V = panjang x lebar x tinggi (*feet*)

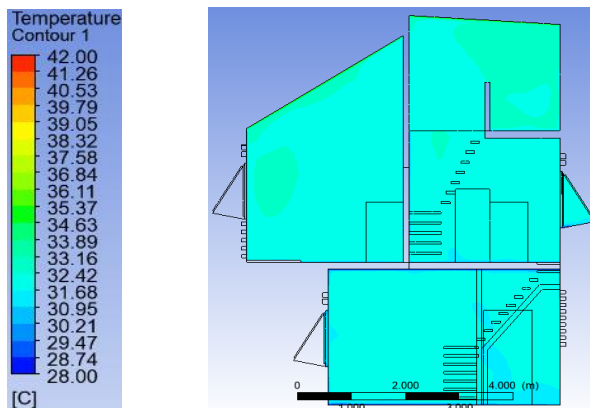
Tabel 8. Kapasitas kebutuhan *fan*

Ruangan	Volume (cuft)	ACH	CFM
Dapur	178,86	10	29,81
		15	44,71
Kamar utama	762,21	2	25,4
		4	50,81
Kamar anak	349,34	2	11,6
		4	23,28

Pada Tabel 8 penentuan CFM tiap ruangan digunakan untuk efisiensi energi secara maksimal dengan pemilihan minimal *air flow rate* yaitu EX-20RHK5T dengan 341 CFM atau 580 m³/h memiliki kecepatan 1.350 RPM.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagai tahap awal, dilakukan validasi model RISHA tanpa *fan* dengan konfigurasi jendela bukaan 30° , pintu, dan ventilasi terbuka dan data lapangan pada pukul 12.00 kondisi matahari terik. Jika selisih error $\leq 10\%$, model dianggap valid untuk digunakan dalam simulasi variasi desain, termasuk penambahan *fan*.



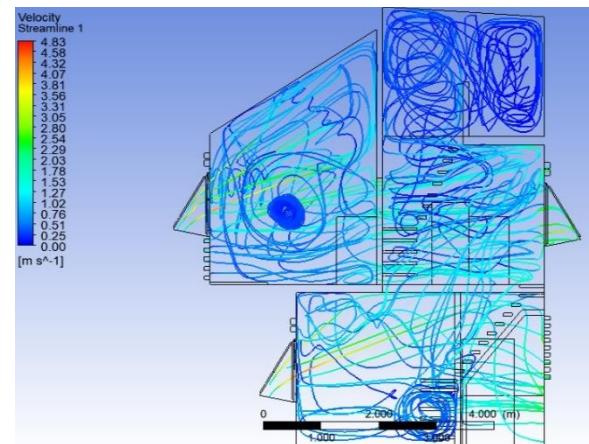
Gambar 3. Contour temperature risha original

Tabel 9. Hasil temperature RISHA original

Zona	Data Lapangan	Hasil Simulasi	Error (%)	Kategori
A	31,4	31,68	0,89	Luar Standar
B	31,6	31,68	0,25	Luar Standar
C	31,1	31,68	1,86	Luar Standar
D	31	31,68	2,19	Luar Standar
E	30,8	31,68	2,85	Luar Standar
F	31	31,68	2,19	Luar Standar
G	31,2	31,68	1,53	Luar Standar
Rata-Rata	31,15	31,68	1,7	Luar Standar

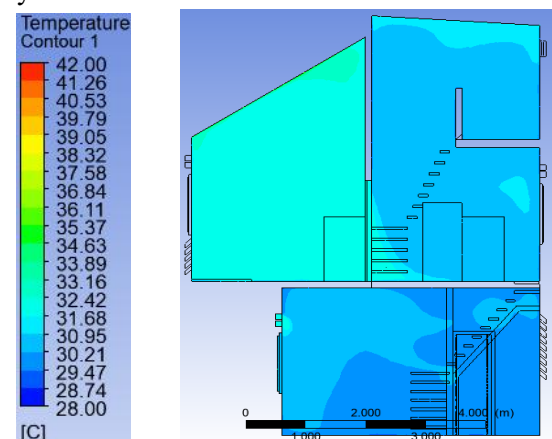
Berdasarkan Gambar 3 dan Tabel 9 blok B11 pada tanggal 9 Juli 2024 menunjukkan nilai *error* di bawah 3%, yang artinya model memiliki tingkat akurasi tinggi dan mampu merepresentasikan kondisi termal aktual di lapangan secara andal. Dengan demikian, model ini layak digunakan untuk analisis variasi desain selanjutnya.

Hasil simulasi dengan waktu satu jam pada variasi *original* menunjukkan suhu di seluruh ruangan kondisi panas yang tidak nyaman di semua zona, sehingga diperlukan optimasi berupa penggunaan *fan* untuk menurunkan suhu dalam ruangan.



Gambar 4. Air flow velocity RISHA original

Pada Gambar 4 aliran udara menunjukkan rentang kecepatan aliran udara 0–4,83 m/s (dengan input awal 1,2 m/s). Aliran di lantai bawah cenderung *laminar* dan lebih stabil, sedangkan di lantai atas, khususnya kamar tidur dan mezanin, erbetur turbulensi kuat dan *vortex* lokal akibat ruang tertutup dan arah aliran yang terbatas. Pada selanjutnya simulasi penambahan *fan* setelah model dinyatakan valid nilai *error* memenuhi standar.



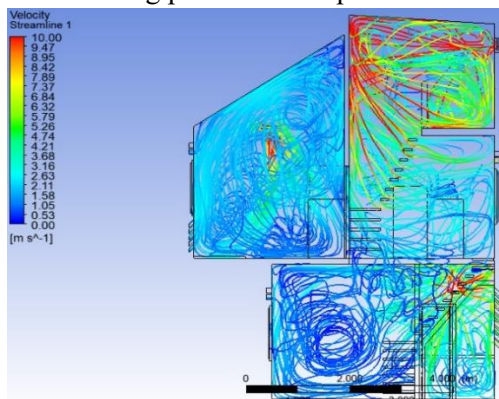
Gambar 5. Contour temperature RISHA add fan

Tabel 10. Hasil temperature RISHA add fan

Zona	Simulasi Original	Hasil Simulasi	T ₁ -T ₂	Kategori
A	31,68	29,47	2,21	Ambang Hangat Nyaman
B	31,68	29,47	2,21	Ambang Hangat Nyaman

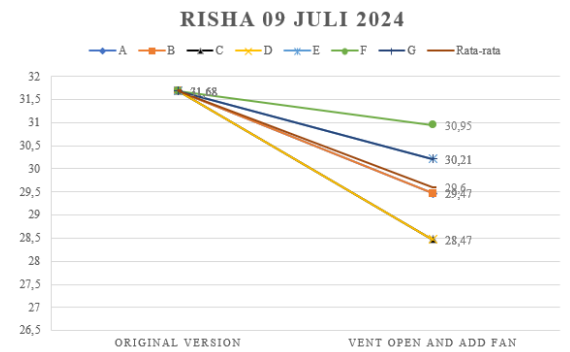
C	31,68	28,47	3,21	Ambang Hangat Nyaman
D	31,68	28,47	3,21	Ambang Hangat Nyaman
E	31,68	30,21	1,47	Ambang Hangat Nyaman
F	31,68	30,95	0,73	Ambang Hangat Nyaman
G	31,68	30,21	1,47	Ambang Hangat Nyaman
Rata-Rata	31,68	29,6	2,07	Ambang Hangat Nyaman

Berdasarkan Gambar 5 dan Tabel 10 blok B11 pada tanggal 9 Juli 2024, penurunan suhu rata-rata mencapai 3,21°C dan seluruh zona masuk kategori ambang batas hangat nyaman. Hasil simulasi selama satu jam menunjukkan bahwa *fan* mampu bekerja secara efektif dalam menurunkan suhu dan membuang udara panas. Pada penggunaan *fan* lebih stabil karena menciptakan aliran udara aktif meski kondisi luar tidak mendukung. Dengan demikian, *fan* terbukti sebagai solusi efisien untuk meningkatkan kenyamanan termal pada bangunan RISHA. Jika dibandingkan dengan variasi ventilasi terbuka tanpa *fan*, suhu rata-rata tetap lebih tinggi, karena sirkulasi udara hanya mengandalkan perbedaan tekanan alami yang tidak selalu cukup untuk membuang panas secara optimal.



Gambar 6. Air flow velocity RISHA add fan

Pada Gambar 6 dengan input 1,2 m/s pada ventilasi dan 1.350 rpm pada *fan*, menunjukkan aliran pada lantai tiga >10 m/s, *fan* dalam waktu satu jam terbentuk aliran kuat dan tertata di lantai atas. *Streamline* rapat berwarna merah menunjukkan aliran cepat yang mengurangi *vortex* dan stagnasi. Pada keseluruhan, *fan* membentuk sirkulasi vertikal efektif dan mempercepat pembuangan udara panas.



Bagan 2. Grafik perbandingan variasi

Tabel 11. Perbandingan variasi

Zona	RISHA <i>Original</i>	RISHA <i>Add Fan</i>
A	31,68	29,47
B	31,68	29,47
C	31,68	28,47
D	31,68	28,47
E	31,68	30,21
F	31,68	30,95
G	31,68	30,21
Rata-rata	31,68	29,6

Pada Bagan 2 dan Tabel 11 ditunjukkan perbandingan suhu pada dua variasi bangunan RISHA. Variasi 1 (kondisi awal) memiliki suhu tertinggi di semua zona dengan rata-rata 31,68°C, menunjukkan terjadinya akumulasi panas yang cukup besar akibat tidak adanya mekanisme pertukaran udara yang memadai. Sementara itu, Variasi 2 (ventilasi terbuka dengan *fan*) menunjukkan penurunan suhu paling signifikan dengan rata-rata 29,6°C. Efektivitas ini terjadi karena aliran udara dapat keluar-masuk dengan lancar sehingga *fan* bekerja optimal dalam

mensirkulasikan udara dan menurunkan suhu ruang secara efisien.

Fluktuasi suhu memengaruhi lapisan termal di kulit, sehingga bisa menimbulkan rasa tidak nyaman seperti *draught*, meski kecepatan udara sama. Jadi, suhu aliran udara juga menjadi faktor penting dalam kenyamanan termal [17]. Selain itu, rumah sebagai tempat tinggal manusia memperjelas pentingnya perencanaan ventilasi yang seimbang antara aliran masuk dan keluar, terutama pada ruang-ruang tertutup [18]. Kondisi ini menguatkan bahwa keberadaan ventilasi terbuka sangat krusial dalam mendukung efektivitas *fan* dalam menurunkan suhu ruangan.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Model CFD terbukti valid dengan tingkat *error* di bawah 3%, sehingga dapat diandalkan untuk analisis variasi termal pada bangunan RISHA. Simulasi awal menunjukkan bahwa seluruh zona berada di atas ambang batas kenyamanan termal, terutama pada ruang-ruang tertutup. Penerapan *fan* dengan ventilasi terbuka terbukti mampu menurunkan suhu rata-rata hingga 3,21°C, menciptakan aliran udara yang stabil dan efektif dalam mengalirkan serta membuang panas. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi ventilasi alami dan bantuan *fan* secara signifikan meningkatkan kualitas termal ruang dan membawa kondisi suhu ke dalam kategori ambang batas hangat nyaman.

Fan hanya mengedarkan udara tanpa membuang panas secara optimal. Maka, konfigurasi dengan ventilasi terbuka dan *fan* merupakan yang paling efektif, karena mampu mempercepat perpindahan panas ke luar meskipun tidak menurunkan suhu secara langsung seperti *Air Conditioner* (AC). Disarankan evaluasi elemen arsitektural seperti *shading* dan material, serta studi lanjutan pada teknologi aktif dengan *Air Conditioner* (AC). Simulasi tambahan juga perlu dilakukan pada berbagai kondisi iklim untuk menilai kinerja termal secara musiman.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada Bapak Ir. Fuad Hilmy, S.T., M.T., IPP., selaku dosen pembimbing utama, atas segala

bimbingan, arahan, dan dorongan yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Bapak Ir. Raka Mahendra Sulistiyo, S.T., M.Sc., atas kontribusi ilmu dan dukungan yang turut memperluas wawasan penulis. Seluruh bantuan dan perhatian yang diberikan sangat berperan dalam meningkatkan kualitas penyusunan karya ini.

REFERENSI

- [1] A. Q. Wisadono, "Rumah Susun dengan Pendekatan Fleksibilitas Desain di Surabaya," 2024, [Online]. Available: <https://jurnal.ft.uns.ac.id/index.php/senthong/article/view/1721/877>
- [2] S. Najib, "Determinan Permintaan Kredit Pemilikan Rumah (KPR) Pada Himpunan Bank Milik Negara (HIMBARA)," 2020, <https://journal.unhas.ac.id/index.php/jeds/article/view/27218>
- [3] S. Zahrotunisa, R. H. Jatmiko, and W. Widyatmanti, "Analisis Pengaruh Suhu Permukaan Lahan Terhadap Elemen Iklim Mikro di Surakarta Menggunakan Citra Penginderaan Jauh Multitemporal," *Majalah Ilmiah Globe*, vol. 22, no. 1, p. 31, Apr. 2020, doi: 10.24895/MIG.2020.22-1.952.
- [4] BMKG, "Anomali Suhu Udara Rata-Rata Tahun 2024."
- [5] C. Tandafatu, C. Hildegardis, J. Kesehatan No, K. Alok Tim, K. Sikka, and N. Tenggara Tim, "Simulasi WinAir4 (CFD) Terhadap Pengaruh Kecepatan dan Aliran Udara di Dalam Ruang Kuliah Universitas Nusa Nipa Maumere," *Jurnal Wilayah, Kota dan Lingkungan Berkelanjutan*, vol. 1, no. 2, Feb. 2022, doi: 10.58169/JWIKAL.V1I2.89.
- [6] F. Fang, M. Bambang Susetyarto, F. Lianto, and S. Hendra Siwi, "Study of Lighting, Humidity, and Ventilation in RISHA Design at Kampung Deret Petogogan, Jakarta," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 1007, no. 1, p. 012080, Dec. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/1007/1/012080.
- [7] S. Latif, "Sistem Ventilasi Alami Satu Sisi pada Kamar Kos dengan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD)," *Jurnal Permukiman*,

- vol. 15, no. 2, Nov. 2020, doi: 10.31815/JP.2020.15.95-106.
- [8] J. P. Liawan, H. Tanujaya, and S. Darmawan, "Analisis Aliran Udara dan Kenyamanan Termal di Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD)," *Jurnal Asimetrik: Jurnal Ilmiah Rekayasa & Inovasi*, vol. 5, Jan. 2023, doi: 10.35814/ASIIMETRIK.V5I1.3122.
- [9] SNI-03-6572., *Tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara*. Jakarta: Standar Nasional Indonesia, 2001.
- [10] M. Lee, G. Park, C. Park, and C. Kim, "Improvement of Grid Independence Test for Computational Fluid Dynamics Model of Building Based on Grid Resolution," *Advances in Civil Engineering*, vol. 2020, no. 1, p. 8827936, Jan. 2020, doi: 10.1155/2020/8827936.
- [11] Global Solar Atlas, *Solar Radiation in Surakarta (-07.590432°, 110.835618°)*. Energydata.info, 2024.
- [12] D. G. Erbs, S. A. Klein, and J. A. Duffie, "Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation," *Solar Energy*, vol. 28, no. 4, pp. 293–302, Jan. 1982, doi: 10.1016/0038-092X(82)90302-4.
- [13] I. Reda and A. Andreas, "Solar position algorithm for solar radiation applications," *Solar Energy*, vol. 76, no. 5, Jan. 2004, doi: 10.1016/J.SOLENER.2003.12.003.
- [14] S. Murakami, N. Kobayashi, H. Yoshino, and S. Kato, "Outline of ventilation standard for acceptable indoor air quality, SHASE Japan.," 1998, [Online]. Available: <https://www.aivc.org/resource/outline-ventilation-standard-acceptable-indoor-air-quality-shase-japan>
- [15] Mitsubishi, *Ventilation Fans Mitsubishi Electric Indonesia*. Jakarta: Mitsubishi Electric Indonesia, 2023.
- [16] N. Yolanda, E. R. Putri, and R. Munir, "Analisis Pertukaran Udara Per Jam Pada Ventilasi Laboratorium di Kawasan Hutan Hujan Tropis," *Progressive Physics Journal*, vol. 3, no. 2, p. 184, Dec. 2022, doi: 10.30872/ppj.v3i2.933.
- [17] A. K. Melikov, U. Krüger, G. Zhou, T. L. Madsen, and G. Langkilde, "Air temperature fluctuations in rooms," *Build Environ*, vol. 32, no. 2, pp. 101–114, Mar. 1997, doi: 10.1016/S0360-1323(96)00034-0.
- [18] B. Omerzo, T. Zakula, and L. R. Glicksman, "Experimental and CFD study of air distribution system and airflow rate impact on airborne transmission," *Build Environ*, vol. 271, p. 112588, Mar. 2025, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2025.112588.