

Analisis *Computational Fluid Dynamic* (CFD) pada Desain Rumah Instan Sederhana Sehat di Kota Surakarta dengan Penambahan *Air Conditioning*

Wahyu Riyanto^{1*}, Ardhana Raka Pramudya², Ikhwan Taufik³, Raka Mahendra Sulistiyo⁴

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

*Penulis Korespondensi, email: wahyuriyanto678@gmail.com

Received: 24/06/2025

Revised: 03/07/2025

Accepted: 05/07/2025

Abstract. *Thermal comfort is a condition in which a person feels comfortable with the ambient temperature, which is generally between 20.5°C and 27.1°C. Surakarta, as a tropical city, experiences the Urban Heat Island (UHI) phenomenon, which causes an increase in temperature, including in Simple Healthy Instant Houses (Risha). This study evaluates the effectiveness of using a 1/2 HP air conditioner for one hour through simulation using Computational Fluid Dynamics (CFD) software. The simulation was conducted by comparing conditions before and after adding the air conditioner, using air temperature parameters of 16°C and airflow velocity of 2.7 m/s. The simulation results show that the use of an AC can reduce the initial temperature by 31.15°C to within the comfort range based on SNI 03-6572-2001, although the cooling distribution is not yet uniform. The rooms that achieve comfortable conditions are the living room, kitchen, and bedroom, while the family room and mezzanine remain above the comfort threshold. These findings indicate that the use of air conditioning can improve thermal comfort in some rooms, but it is not yet optimal for the entire building. Therefore, it is recommended to optimize the placement of air conditioners and improve the ventilation system to enhance cooling efficiency and achieve more even temperature distribution.*

Keywords: *Thermal comfort, Computational Fluid Dynamic (CFD), Risha, Air Conditioner*

Abstrak. Kenyamanan termal adalah kondisi ketika seseorang merasa nyaman terhadap suhu lingkungan, yang umumnya berada dalam rentang 20.5°C hingga 27.1°C. Kota Surakarta, sebagai wilayah tropis, mengalami fenomena *Urban Heat Island* (UHI) yang menyebabkan peningkatan suhu, termasuk pada bangunan Rumah Instan Sederhana Sehat (Risha). Penelitian ini mengevaluasi efektivitas penggunaan AC 1/2 PK selama satu jam melalui simulasi menggunakan perangkat lunak *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Simulasi dilakukan dengan membandingkan kondisi sebelum dan sesudah penambahan AC, menggunakan parameter suhu udara sebesar 16°C dan kecepatan hembusan 2.7 m/s. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan AC dapat menurunkan temperatur awal sebesar 31.15°C hingga berada dalam rentang kenyamanan berdasarkan SNI 03-6572-2001, meskipun distribusi pendinginan belum merata. Ruang yang mencapai kondisi nyaman adalah ruang tamu, dapur, dan kamar tidur, sedangkan ruang keluarga dan mezanin masih berada di atas ambang batas kenyamanan. Temuan ini menunjukkan bahwa penggunaan AC dapat meningkatkan kenyamanan termal pada sebagian ruang, namun belum optimal untuk seluruh bangunan. Oleh karena itu, disarankan dilakukan optimasi penempatan AC dan perbaikan sistem ventilasi guna meningkatkan efisiensi pendinginan dan distribusi suhu yang lebih merata.

Kata Kunci: *Kenyamanan termal, Computational Fluid Dynamic (CFD), Risha, Air Conditioner*

I. PENDAHULUAN

Manusia dalam dalam bertahan hidup perlu memenuhi tiga kebutuhan pokok salah satunya adalah kebutuhan terhadap papan. Kebutuhan papan ini merupakan kebutuhan pokok pada tempat tinggal atau rumah untuk melindungi manusia dari cuaca, ancaman, dan gangguan dari alam yang dapat membahayakan kelangsungan hidupnya. Selain

melindungi penghuninya dari ancaman alam, rumah juga harus menyediakan kenyamanan secara psikologis bagi penghuninya. Salah satu aspek penting yang memengaruhi kenyamanan penghuni adalah kondisi termal di dalam rumah [1].

Kondisi termal di dalam rumah berhubungan erat dengan kesejahteraan penghuni. Ketika suhu di dalam rumah terlalu panas atau terlalu dingin,

penghuni bisa mengalami ketidaknyamanan yang berakibat pada penurunan produktivitas, gangguan kesehatan, hingga gangguan tidur [2]. Oleh karena itu, memastikan bahwa rumah memiliki kondisi termal yang optimal sangat penting. Sehingga, sebagai perancang dan pemilik rumah perlu memprediksi bagaimana kondisi suhu, dan aliran udara di dalam rumah rancangan sebelum dibangun atau direnovasi menggunakan perangkat lunak seperti *Computational Fluid Dynamic* (CFD).

Pada tahun 2014 terdapat 15 juta penduduk yang memerlukan rumah sehingga pembangunan perumahan dituntut untuk selesai secara cepat dan berkualitas untuk mengatasi permasalahan tersebut [3]. Kementerian Pekerjaan Umum melalui Pusat Penelitian dan Pengembangan (PUSLITBANG) berupaya memenuhi tuntutan tersebut dengan melakukan penelitian yang menghasilkan teknologi inovasi desain rumah sederhana sehat yang dapat diproduksi dengan cepat. Teknologi ini menggunakan konsep bangunan dengan komponen yang kompak, berukuran modular, dan sistem bongkar pasang (*knock down*) yang dikenal sebagai Rumah Instan Sederhana Sehat (Risha). Teknologi Risha dirilis tanggal 20 Desember 2004 yang terinspirasi dari mainan anak, yaitu mainan lego yang berkonsep membagi beberapa bagian kecil sistem yang dapat dirakit menjadi produk yang berbeda. Sistem bangunan ini telah diterapkan pada beberapa lokasi, salah satunya di perumahan yang beralamat Kecamatan Semanggi, Kota Surakarta.

Teknologi Risha memiliki keunggulan seperti proses pembangunan cepat, ramah lingkungan, serta fleksibel dalam penggunaan. Bahan bangunan yang digunakan seperti beton bertulang dapat mendukung ketahanan dan efisiensi konstruksi. Namun, desainnya masih memiliki kekurangan dalam hal kenyamanan termal karena minimnya jalur masuk udara dan ventilasi alami yang kurang optimal [4]. Akibatnya, distribusi suhu dalam ruang menjadi tidak merata dan laju aliran udara tidak efektif, menyebabkan ruangan terasa panas dan pengap yang menurunkan efektivitas penghuni [5].

Pengaruh anomali suhu yang semakin meningkat di Surakarta memperparah keadaan ini.

Berdasarkan data dari stasiun pengamatan BMKG suhu udara rata-rata tahunan di Indonesia selama tahun 1991 hingga 2020 adalah 26.7°C dan tahun 2024 sebesar 27.5°C. Hal ini menandakan terdapat anomali suhu udara tahun 2024 sebesar 0.8°C yang menunjukkan kenaikan suhu [6]. Fenomena ini, yang sering disebut *urban heat island effect* (UHI), terjadi akibat urbanisasi yang pesat, berkurangnya ruang terbuka hijau, dan penggunaan lahan yang berubah. Dengan meningkatnya jumlah bangunan, aspal, dan beton di kawasan perkotaan, daya serap panas dari permukaan meningkat secara signifikan, sehingga suhu udara di kota menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan daerah yang lebih terbuka atau alami.

Kota Surakarta memiliki iklim tropis dengan variasi suhu dan kelembapan yang khas sepanjang tahun. Kota Surakarta memiliki suhu udara rata-rata bulanan tahun 2021 berkisar antara 25.7°C hingga 28.2°C. Suhu terendah pada tahun 2021 terjadi pada Bulan Juli sebesar 19.4°C dan paling tinggi berada di Bulan Oktober sebesar 35°C [7]. Fenomena ini tidak hanya berdampak pada lingkungan luar, tetapi juga meningkatkan suhu di dalam bangunan, sehingga menurunkan kenyamanan termal bagi penghuni.

Kondisi suhu yang panas, terutama selama musim panas, mendorong kebutuhan akan sistem AC untuk menciptakan kenyamanan termal di dalam ruangan. Meski demikian, penggunaan AC secara berlebihan memiliki dampak negatif, seperti meningkatnya konsumsi energi, biaya listrik yang tinggi, dan kontribusi terhadap pemanasan global melalui emisi karbon. Oleh karena itu, penting untuk mengkaji desain rumah yang dapat memaksimalkan kenyamanan termal dengan penggunaan AC yang lebih efisien.

Kenyamanan termal di Indonesia diatur berdasarkan SNI 03-6572-2001 yang membagi menjadi tiga kategori. Tiga kategori tersebut yaitu kondisi hangat nyaman berada antara 25.8-27.1°C, kondisi nyaman optimal 22.8-25.8°C, dan sejuk nyaman 20.5-22.8°C [8].

CFD merupakan metode yang sangat efektif untuk menganalisis kondisi termal dan aliran fluida

dalam ruang. Berbagai penelitian telah membuktikan efektivitas CFD dalam menganalisis kenyamanan termal, seperti pada penelitian Liawan dkk [9] dan Kermani [10] yang berhasil mengevaluasi distribusi suhu dan udara pada berbagai konfigurasi ruangan.

Penelitian ini bertujuan menganalisis desain Risha menggunakan perangkat lunak CFD berupa Ansys, khususnya dalam konteks penambahan AC selama satu jam dengan kemampuan maksimum yang dimiliki oleh AC 1/2 PK yaitu dengan suhu 16°C untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kenyamanan termal pada desain Risha.

II. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif terhadap hasil simulasi dengan menggunakan data lapangan yang diperoleh dari pengukuran langsung. Data pengukuran ini dilakukan pada Blok B yang dilakukan pada waktu siang hari. Pengukuran lapangan menggunakan tiga buah alat, yaitu: anemometer untuk mengukur kecepatan udara luar; thermogun untuk mengukur temperatur pada dinding, lantai, dan atap rumah; dan thermometer untuk menentukan suhu ruangan. Selain pengukuran pada bangunan Risha dilakukan juga pengukuran terhadap AC 1/2 PK LG dalam kondisi pendinginan maksimum.

Selain data pengukuran lapangan, dilakukan pencarian secara literatur mengenai posisi rumah terhadap matahari menggunakan website Andrew Marsh dan tingkat radiasi harian Kota Surakarta melalui website Global Solar Atlas. Kedua sumber ini digunakan untuk memperkuat analisis terhadap paparan radiasi termal pada bangunan yang diteliti.

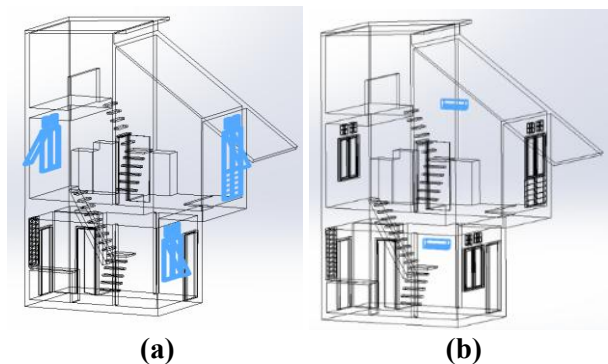
A. Geometry

Pada penelitian ini bangunan Risha yang digunakan adalah bangunan B11 dengan dua jenis geometri. Jenis geometri yang pertama adalah geometri dengan pintu terbuka penuh dan jendela terbuka 30° . Geometri yang kedua adalah geometri yang memiliki kondisi semua ventilasi tertutup dengan adanya penambahan AC 1/2 PK di ruang tamu dan ruang tidur.

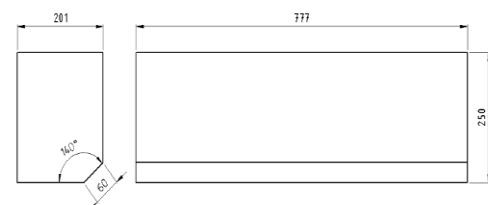
Ukuran bangunan Risha secara umum ditunjukkan pada Gambar 1, sedangkan desain model ventilasi terbuka dan tertutup dengan penambahan AC dapat dilihat pada Gambar 2, serta dimensi fisik AC ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 1. Ukuran Risha (Puslitbang Perkim PUPR)



Gambar 2. Desain CAD ventilasi terbuka (a) dan ventilasi tertutup dengan penambahan AC (b)



Gambar 3. Ukuran AC

B. Data Lapangan

Bangunan B11 Risha menghasilkan pengukuran lapangan tanggal 9 Juli, antara lain: kecepatan udara luar 1.2 m/s , suhu udara luar 32.40°C , lantai keramik di lantai satu 27.53°C , lantai keramik di lantai dua 30.25°C , dinding beton 29.78°C , atap rumah gipsium 36.15°C , kecepatan udara AC 2.7 m/s , dan temperatur AC 16°C . Selain pengukuran ini, didapatkan juga hasil suhu tiap ruangan pada Tabel 1.

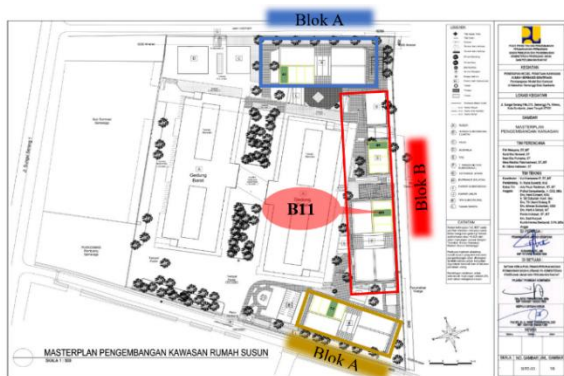
Tabel 1. *Boundary condition* untuk simulasi

Suhu Ruangan	Temperatur (°C)
Ruang tamu	31.8
Dapur	31.1
Kamar mandi	31
Kamar keluarga	30.8
Kamar tidur	31
Ruang mezanin	31.2
Total	31.15

C. *Simulation model*

Pada penelitian ini digunakan model transien menggunakan model turbulen dengan dipengaruhi oleh gaya gravitasi sebesar 9.81 m/s^2 dalam arah Y. Simulasi menggunakan model aliran udara turbulensi SST K- ω yang dapat merealisasikan efek dari aliran turbulen dengan mempertimbangkan perpindahan panas di dalam rumah terdapat yaitu perpindahan panas secara radiasi antara radiasi matahari dengan fluida dalam ruangan. digunakan dan *model energy dan discrete ordinates (DO)*.

Model *discrete ordinates* digunakan untuk menganalisis radiasi matahari yang masuk ke dalam ruangan melalui kaca jendela. Bangunan B11 Risha dari Gambar 4 menunjukkan posisi depan menghadap ke arah timur dan kiri rumah menghadap utara. Posisi bangunan B11 berdasarkan simulasi pada *website Andrew Marsh* berada pada *latitude* -7.59° , *longitude* 110.835° , zona waktu $+7$, *azimuth angle* (θ) 59.07° , dan *zenith angle* (ϕ) adalah 30.93° .



Gambar 4. Denah Risha Surakarta
(Sumber: Dokumen LARAP untuk rencana pengaturan untuk Semanggi RW 2)

Besar radiasi matahari pada tanggal 9 Juli 2024 tercatat sebesar $104.5 \text{ Wh/m}^2/\text{hari}$ untuk *irradiation per day* dan $157.46 \text{ Wh/m}^2/\text{hari}$ untuk *diffuse irradiation*. Nilai *diffuse fraction* dihitung menggunakan persamaan erbs, 1982 [11]:

$$\text{Diffuse fraction} = \frac{H_d}{H} \quad (1)$$

Persamaan erbs tersebut menjelaskan bahwa *diffuse irradiation* berasal dari rasio antara *diffuse irradiation* harian terhadap total *global irradiation* harian. *Diffuse fraction* yang didapatkan menggunakan persamaan 1 adalah 0.4.

Komponen lantai, dinding, dan atap didefinisikan sebagai *wall* dengan kondisi termal berdasarkan temperatur lapangan tanggal 9 Juli 2024. Sementara itu, kaca rumah dianggap sebagai *wall* dengan kondisi termal radiasi. Radiasi pada kaca menggunakan suhu luar ruang 32.4°C dan tebal 5 mm dengan internal emisivitas 0.5 akibat kaca yang tertutup setengah oleh atap rumah. Radiasi termal pada kaca bersifat *semi-transparent* dengan mempertimbangkan posisi matahari terhadap rumah. *Boundary condition inlet* diterapkan pada setiap bukaan ventilasi.

Pada desain simulasi dengan penambahan AC, semua bukaan ventilasi dianggap tertutup dan didefinisikan sebagai *wall*, sehingga *inlet* dan *outlet* hanya berlaku pada komponen AC. Udara disirkulasikan melalui AC dengan menerapkan *mass flow* sebesar 0.1542 kg/s , yang diperoleh dari persamaan berikut [12]:

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot v \quad (2)$$

Penggunaan *mass flow* ini berguna mengatur jumlah udara yang diserap oleh AC dari ruangan sama dengan udara yang dikeluarkan AC ke ruangan. Penggunaan data *boundary condition* secara singkat pada Tabel 2.

Tabel 2. *Boundary condition* untuk simulasi

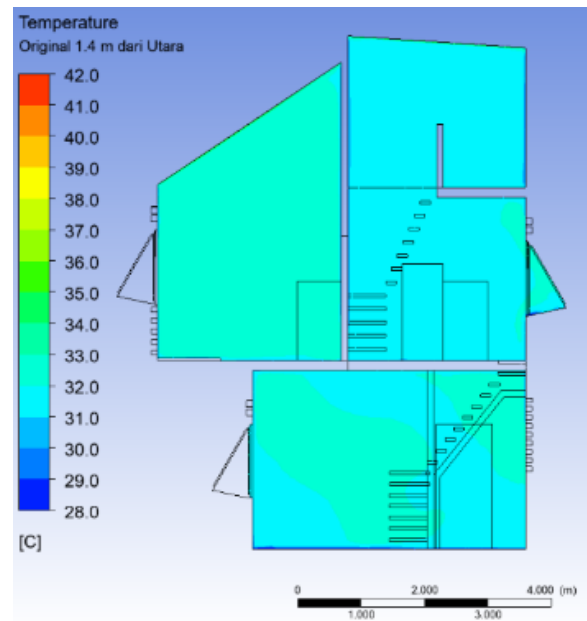
<i>Boundary condition</i>	Jenis	<i>Thermal condition</i>	Keterangan
<i>Inlet AC</i>	<i>Mass flow</i>	Temperatur	0.1541 kg/s
<i>Outlet AC</i>	<i>Mass flow</i>	Temperatur	0.1541 kg/s
Lantai satu	<i>Wall</i>	Temperatur	27.53°C
Lantai dua	<i>Wall</i>	Temperatur	30.25°C
Dinding	<i>Wall</i>	Temperatur	29.78°C
Atap	<i>Wall</i>	Temperatur	36.15°C
Kaca	<i>Wall</i>	Radiasi	32.4°C
<i>Inlet ventilasi</i>	<i>Wall</i>	<i>Velocity</i>	32.4°C 1.2 m/s

D. Validasi data

Penelitian ini dilakukan validasi data dengan membuat empat jenis *mesh* dari kasar hingga halus seperti yang diterapkan pada desain ventilasi terbuka dan disimulasikan tanpa adanya pengaruh waktu dengan model *steady state*. Dari hasil pembuatan *mesh* tersebut didapatkan jenis paling kasar memiliki jumlah 231.600 *node* dengan *cell* terbesar 0.4 m, jenis kasar memiliki jumlah 239.794 *node* dengan *cell* terbesar 0.2 m, jenis halus memiliki 286269 *node* dengan *cell* terbesar 0.1 m, dan jenis paling halus memiliki jumlah 336.142 *node* dengan *cell* terbesar 0.08.

Pengukuran yang digunakan adalah mengukur *contour temperature* yang berjarak 1, 1.4, dan 2.25 m dari Utara rumah. Dari hasil tersebut, didapatkan *mesh* yang digunakan adalah *mesh* kasar dengan *error* antar *mesh* 0.02%.

Selain pengujian *mesh*, data simulasi dilakukan validasi temperatur. Pengujian temperatur seperti Gambar 5. Hasil simulasi menunjukkan pada tanggal 9 Juli 2024 memiliki *error* 2.4% dengan suhu rata-rata ruangan 31.9°C dibandingkan data lapangan yaitu 31.15°C.



Gambar 5. Pengujian temperatur ruangan 9 juli 2024 bangunan B11

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Temperatur

Hasil simulasi di Gambar 6 menunjukkan bahwa setelah penggunaan AC selama satu jam, terjadi penurunan suhu ruangan secara signifikan. Ruang tamu yang langsung terpapar hembusan AC mencatat suhu rata-rata akhir sebesar 22.23°C, yang masuk dalam kategori sejuk nyaman berdasarkan SNI 03-6572-2001. Waktu yang diperlukan AC untuk mendinginkan ruangan ini hingga memasuki nyaman hangat adalah 40 detik.

Ruang dapur, yang berada di belakang ruang tamu, mengalami penurunan suhu hingga 25.02°C tergolong nyaman optimal. Meskipun dapur tidak terpapar langsung oleh aliran AC, pendinginan terjadi melalui konveksi dari udara sejuk di ruang tamu. Pengaruh ini menyebabkan suhu ruangan dapat turun hingga memasuki termal nyaman hangat pada detik ke 180.

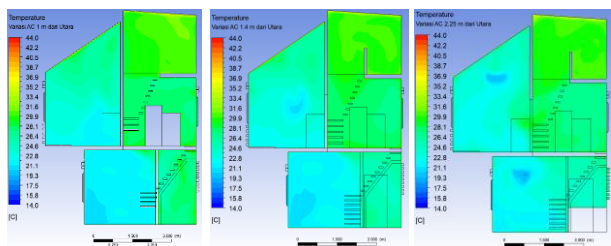
Fenomena tersebut sesuai dengan temuan Christensen dkk [13] yang menemukan ruangan tanpa pemanas aktif tetap mengalami peningkatan suhu karena berdekatan dengan ruangan yang terdapat pemanas aktif, menunjukkan perpindahan panas antar ruangan terjadi secara pasif meskipun

tanpa kontak langsung udara dengan udara dari pemanas atau pendingin.

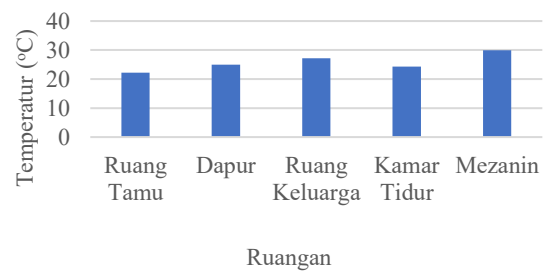
Kamar tidur yang terkena paparan langsung AC mencatat suhu akhir 24.28°C dan mengalami penurunan stabil setelah 80 detik. Setelah 200 detik, suhu ruangan mendekati keadaan kesetimbangan termal, di mana perpindahan panas konveksi dan radiasi mencapai keseimbangan dan perubahan suhu menjadi sangat kecil [14][15].

Ruang keluarga di lantai dua yang tidak menggunakan AC secara langsung menghasilkan suhu akhir sebesar 27.18°. penurunan ini diakibatkan udara yang mengalir ke dalam ruangan dari lantai satu dan sebagian besar dari kamar tidur. Pendinginan yang tidak terlalu besar disebabkan karena adanya konveksi alami yang membuat udara panas dari lantai satu naik akibat perbedaan densitas udara dingin dan panas kemudian menempati ruang keluarga [16]. Hal ini selaras dengan pernyataan Longhitano dkk bahwa akibat perbedaan densitas antara udara panas dan udara dingin.

Mezanin mencatat temperatur tertinggi di antara semua ruangan, yaitu sebesar 29.90°C dan tidak masuk dalam standar kenyamanan termal. Hal ini disebabkan oleh stratifikasi termal, di mana udara panas terakumulasi di area atas akibat tidak adanya ventilasi serta terhalangnya sirkulasi AC oleh *ceiling* dan dinding. Kondisi ini juga selaras dengan hasil temuan Longhitano dkk [16] yang menyatakan bahwa area atas pada bangunan bertingkat tanpa ventilasi efektif berpotensi menjadi zona akumulasi panas. Perbedaan suhu tiap ruangan dapat dilihat pada Bagan 1.



Gambar 6. Temperatur setelah AC menyala selama satu jam



Bagan 1. Grafik temperatur setiap ruangan setelah satu jam

B. Velocity

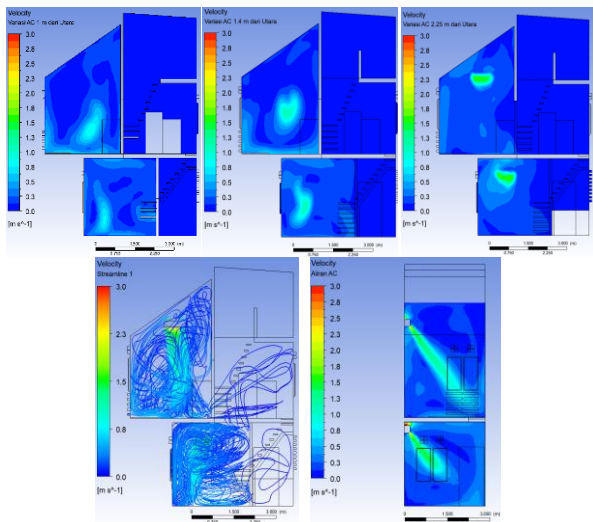
Hasil simulasi pada Gambar 7 menunjukkan bahwa aliran udara dari AC menyebar cepat di ruang tamu lantai satu, tetapi melemah sebelum mencapai dapur. Hambatan berupa dinding kamar mandi serta jarak yang cukup jauh dari AC menyebabkan udara dingin yang masuk ke dapur sangat terbatas. Fenomena ini memperlihatkan ketidaktercapaian distribusi udara secara merata pada lantai satu, sehingga mengakibatkan pendinginan yang tidak optimal di dapur.

Pada lantai dua, udara dingin dari AC bersirkulasi di kamar tidur dan sebagian mengalir ke ruang keluarga. Udara dingin ini tidak mencapai ruangan mezanin dikarenakan posisi ruangan mezanin terhalang oleh *ceiling* ruang keluarga dan dinding mezanin. Kondisi ini menyebabkan ruang mezanin tidak mendapatkan udara dingin sedikitpun dan menjadi ruangan terpanas.

Fenomena dilantai satu dan dua sejalan dengan hasil temuan Lv, dkk [17] yang menyatakan hambatan struktural dan tidak adanya ventilasi tambahan menghambat distribusi udara ke tempat tinggi.

Penurunan kecepatan aliran udara dari AC sebelum menyentuh lantai juga disebabkan gaya apung/*bouyancy force* akibat perbedaan suhu antara udara AC dan udara ruangan, serta pola aliran turbulen yang menyebabkan energi kinetik cepat terdisipasi selaras dengan Aziz dkk [18]. Aziz dkk [18] juga menemukan bahwa gaya apung memiliki pengaruh besar terhadap medan kecepatan, di mana udara dingin yang keluar dari AC cenderung menyebar di tengah ruangan terlebih dahulu, lalu mengalir ke bawah, menabrak dinding samping dan

membentuk pusaran, menyebabkan penyebaran udara yang tidak merata di seluruh ruangan.



Gambar 7. Air velocity setelah AC menyala selama satu jam

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Penggunaan AC 1/2 PK pada rumah Risha terbukti mampu meningkatkan kenyamanan termal berdasarkan hasil simulasi CFD. Penambahan AC dengan suhu hembusan 16°C dan kecepatan udara 2.7 m/s selama satu jam dapat menurunkan temperatur ruangan secara signifikan, terutama pada ruang tamu, dapur, dan kamar tidur. Namun, pada ruang seperti mezanin dan ruang keluarga, terjadi penurunan temperatur yang tidak merata, sehingga belum mencapai batas kenyamanan termal yang ditetapkan. Hal ini disebabkan oleh adanya stratifikasi termal dan hambatan aliran udara akibat konfigurasi struktur bangunan, khususnya pada area mezanin.

Temuan ini menunjukkan bahwa perlu dilakukan optimalisasi desain ventilasi dan penempatan AC agar distribusi udara dingin menjadi lebih merata ke seluruh ruangan. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengeksplorasi desain ventilasi yang lebih efektif, terutama pada area mezanin yang teridentifikasi sebagai ruangan dengan hambatan aliran udara paling tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Ir. Ikhwan Taufik,

S.Pd., M.Eng. dan Bapak Ir. Raka Mahendra Sulistiyo, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing atas segala bimbingan, arahan, motivasi, dan wawasan yang senantiasa diberikan selama proses penelitian ini. Seluruh bantuan dan perhatian yang diberikan sangat berarti dalam menyempurnakan penulisan karya ini.

REFERENSI

- [1] Maulinda, “Analisis Kenyamanan Termal Terhadap Rumah Tradisional Aceh,” *Arsitekno*, vol. 10, no. 1, pp. 1–8, Mar. 2023, Accessed: Dec. 01, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.29103/arj.v10i1.8928>
- [2] N. B. Wicaksono, P. Abriyanti, S. M. Effendi, F. K. A. Nugraha, and B. S. Widodo, “Signifikansi Pembatasan Waktu Penggunaan AC Terhadap Kenyamanan Termal,” *Energi*, vol. 15, no. 2, pp. 167–175, Jan. 2024, doi: <https://doi.org/10.33322/energi.v15i2.2245>.
- [3] M. Wimala, B. Bonardo, W. Perceka, and C. Carissa, “Keunggulan Kompetitif Teknologi Modular Rumah Instan Sederhana Sehat (Risha) Jayagiri,” *ARSITEKTURA*, vol. 20, no. 2, pp. 327–340, Oct. 2022, doi: [10.20961/arst.v20i2.60111](https://doi.org/10.20961/arst.v20i2.60111).
- [4] G. T. Gunarto, N. R. Kusuma, E. Arvanda, and H. Isnaeni, “An Analysis of Architectural Approach Towards the Efficiency of RISHA as Post-Disaster Housing Response in Indonesia,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020. doi: [10.1088/1755-1315/452/1/012029](https://doi.org/10.1088/1755-1315/452/1/012029).
- [5] F. Fang, M. Bambang Susetyarto, F. Lianto, and S. H. 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, pp. 1–6, Dec. 2020, doi: [10.1088/1757-899X/1007/1/012080](https://doi.org/10.1088/1757-899X/1007/1/012080).
- [6] A. Wicaksono, “Anomali Suhu Udara Rata-Rata Tahun 2024.” Accessed: Jan. 12, 2025. [Online]. Available: <https://www.bmkg.go.id/iklim/anomali-suhu-udara/anomali-suhu-udara-rata-rata-tahun-2024>
- [7] Badan Pusat Statistik Kota Surakarta, “Suhu Udara Menurut Bulan.” Accessed: Jan. 12,

2025. [Online]. Available: <https://surakartakota.bps.go.id/id/statistics-table/2/Mjc2IzI=/suhu-udara-menurut-bulan.html>
- [8] Y. Hadi, T. Azaria, N. K. Putrianto, T. Oktiarso, Y. Ekawati, and S. Noya, "Analisis Kenyamanan Termal Ruang Kuliah," *Metris*, vol. 21, no. 1, pp. 13–26, Mar. 2020, Accessed: Nov. 02, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.25170/metris.v21i01.2428>
- [9] 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 Dan Inovasi*, vol. 5, no. 1, pp. 123–134, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.35814/asiimetrik.v5i1.3122>.
- [10] A. Kermani, "CFD Modeling for Ventilation System of a Hospital Room," in *Proceedings of the 2015 COMSOL Conference in Boston*, Needham: Veryst Engineering LLC, 2015, pp. 1–5. Accessed: Nov. 02, 2024. [Online]. Available: <https://www.comsol.com/paper/cfd-modeling-for-the-ventilation-system-of-a-hospital-room-28272>
- [11] 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, Aug. 1982.
- [12] Y. A. Cengel and J. M. Cimbala, *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*, 4th ed., no. 5. New York: McGraw-Hill Education, 2018.
- [13] L. Christensen, T. H. Broholt, and S. Petersen, "Are Bedroom Air Temperatures Affected By Temperature Boosts in Adjacent Rooms?," *CLIMA 2022 conference*, Apr. 2022, doi: [10.34641/clima.2022.38](https://doi.org/10.34641/clima.2022.38).
- [14] N. Cai, D. Zhang, and C. Huang, "A study on Stratified Air Conditioning Cooling Load Calculation Codel for a Large Space building," *International Journal of Heat and Technology*, vol. 36, no. 2, 2018, doi: [10.18280/ijht.360210](https://doi.org/10.18280/ijht.360210).
- [15] J. Frisch, R. P. Mundani, E. Rank, and C. van Treeck, "Engineering-based Thermal CFD Simulations on Massive Parallel Systems," *Computation*, vol. 3, no. 2, pp. 235–261, May 2015, doi: [10.3390/computation3020235](https://doi.org/10.3390/computation3020235).
- [16] A. Longhitano, V. Costanzo, G. Evola, and F. Nocera, "Microclimate Investigation in a Conference Room with Thermal Stratification: An Investigation of Different Air Conditioning Systems," *Energies (Basel)*, vol. 17, no. 5, Mar. 2024, doi: [10.3390/en17051188](https://doi.org/10.3390/en17051188).
- [17] L. Lv, Y. Luo, Y. Xiang, X. Zhou, and C. Huang, "Research on the Dynamic Heat Transfer of Stratified Air Conditioning Zone Building Surfaces in Large Space Scale Rig Based on Low Supply-middle Return," *Sci Prog*, vol. 103, no. 3, Jul. 2020, doi: [10.1177/0036850420950926](https://doi.org/10.1177/0036850420950926).
- [18] M. A. Aziz, I. A. M. Gad, E. Shahat, F. A. Mohammed, and R. H. Mohammed, "Experimental and Numerical Study of A/C Outlets and Its Impact on Room Airflow Characteristics," *World Acad Sci Eng Technol*, vol. 6, no. 11, pp. 2362–2370, Jan. 2012.