

# Analisis Kesesuaian Model Simulasi *Computational Fluid Dynamics (CFD)* Terhadap Data Eksperimen Distribusi Suhu Pada Ruang Kelas

Panji Adhi Satria<sup>1</sup>, Rahmat Subarkah<sup>1\*</sup>, Haolia Rahman<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknoogi Rekayasa Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

\*Corresponding author *E-mail address*: rahmat.subarkah@mesin.pnj.ac.id

---

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat kesesuaian antara hasil simulasi *Computational Fluid Dynamics (CFD)* dan data eksperimen pada distribusi suhu ruang kelas A.110 Gedung A Politeknik Negeri Jakarta, yang menggunakan dua unit AC split wall sebagai sumber pendinginan. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Ansys Fluent dengan parameter boundary condition berupa velocity inlet pada unit AC, heat flux pada lampu dan penghuni, serta kondisi suhu pada dinding dan jendela yang disesuaikan dengan kondisi aktual. Sebagai data pembanding, dilakukan pengukuran suhu eksperimen menggunakan data logger termokopel pada dua elevasi 0,5 m dan 1,5 m dari lantai di tiga baris pengamatan, yaitu dekat jendela, tengah, dan dekat pintu. Tingkat kesesuaian model dievaluasi secara kuantitatif menggunakan metode Mean Absolute Percentage Error (MAPE) dan Root Mean Square Error (RMSE). Hasil penelitian menunjukkan nilai MAPE sebesar 2,37% dan RMSE sebesar 0,63°C, yang keduanya berada jauh di bawah ambang batas yang ditetapkan MAPE < 10% dan RMSE < 5°C. Hasil ini menunjukkan bahwa model simulasi CFD yang dikembangkan memiliki tingkat akurasi yang baik dan mampu merepresentasikan distribusi suhu aktual di dalam ruang kelas A.110.

Kata-kata kunci: CFD, distribusi suhu, validasi, MAPE, RMSE

## Abstract

This study aims to analyze the level of agreement between *Computational Fluid Dynamics (CFD)* simulation results and experimental data on the temperature distribution of classroom A.110, Building A, Politeknik Negeri Jakarta, which is cooled by two split wall AC units. The simulation was carried out using Ansys Fluent with boundary conditions consisting of velocity inlets at the AC units, heat flux at the lamps and occupants, and wall and window temperatures adjusted to actual field conditions. As comparison data, experimental temperature measurements were taken using a thermocouple data logger at two elevations (0.5 m and 1.5 m above the floor) across three observation rows, namely near the window, the middle row, and near the door. The level of model agreement was evaluated quantitatively using the Mean Absolute Percentage Error (MAPE) and Root Mean Square Error (RMSE) methods. The results show a MAPE of 2.37% and an RMSE of 0.63°C, both of which are well below the established thresholds (MAPE < 10% and RMSE < 5°C). These results indicate that the developed CFD simulation model has a good level of accuracy and is able to represent the actual temperature distribution inside classroom A.110.

Keywords: CFD, temperature distribution, validation, MAPE, RMSE

## 1. PENDAHULUAN

*Computational Fluid Dynamics (CFD)* merupakan salah satu metode numerik yang banyak digunakan dalam bidang rekayasa untuk menganalisis perilaku aliran fluida dan perpindahan panas pada berbagai jenis sistem, termasuk sistem tata udara di dalam ruangan tertutup [1]. Keunggulan utama metode *CFD* terletak pada kemampuannya untuk memvisualisasikan pola aliran udara dan distribusi suhu secara kuantitatif pada hampir seluruh titik di dalam domain simulasi [2].

Penerapan metode *CFD* untuk menganalisis distribusi suhu dan aliran udara pada sistem *AC* di ruang tertutup telah dilakukan dalam berbagai konteks rekayasa. Simulasi distribusi suhu dan kecepatan udara pada kabin kendaraan listrik menggunakan perangkat lunak *SolidWorks Flow Simulation* menunjukkan bahwa kecepatan udara keluaran *grill* berpengaruh langsung terhadap distribusi suhu rata-rata di dalam kabin, dan bahwa pendekatan *CFD* mampu merepresentasikan kondisi termal pada ruang tertutup dengan sistem *AC* secara kuantitatif dengan menggunakan data eksperimen sebagai masukan *boundary condition* [3]. Selain itu, simulasi *CFD* menggunakan *Ansys Workbench* juga telah terbukti mampu menganalisis fenomena aliran fluida yang kompleks pada sistem perpipaan, di mana keandalan hasil simulasi sangat bergantung pada ketepatan penetapan *boundary condition* dan pendekatan analisis yang digunakan [4].

Meskipun demikian, hasil simulasi *CFD* pada dasarnya merupakan pendekatan numerik yang sangat bergantung pada ketepatan parameter *boundary condition*, pemilihan model turbulensi, serta kualitas *meshing* yang digunakan selama proses pemodelan, di mana ukuran grid yang lebih kecil pada umumnya menghasilkan tingkat akurasi yang lebih tinggi namun dengan beban komputasi yang lebih besar [5]. Oleh karena itu, hasil simulasi tidak dapat begitu saja diasumsikan benar terhadap kondisi nyata tanpa melalui proses validasi terhadap data eksperimen, mengingat simulasi *CFD* pada banyak kasus masih memerlukan data pembandingan untuk dapat menilai keandalan hasilnya.

Pada kasus simulasi aliran udara dan distribusi suhu di dalam ruangan *AC*, tingkat kesesuaian antara hasil *CFD* dan data eksperimen dapat dipengaruhi oleh penentuan kondisi *boundary* pada unit *AC*, *heat flux* dari lampu maupun penghuni ruangan, serta properti termal material dinding, jendela, dan pintu yang digunakan dalam pemodelan. Ketidaktepatan dalam menentukan parameter-parameter tersebut dapat menyebabkan deviasi antara hasil simulasi dan kondisi aktual, sehingga diperlukan metode kuantitatif seperti *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)* dan *Root Mean Square Error (RMSE)* untuk mengevaluasi besarnya tingkat kesesuaian tersebut secara objektif [6].

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis tingkat kesesuaian hasil simulasi *CFD* terhadap data eksperimen pada ruang kelas A.110 Gedung A Politeknik Negeri Jakarta, dengan studi kasus distribusi suhu yang dihasilkan oleh dua unit *AC split wall* yang terpasang pada ruangan tersebut. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak *Ansys Fluent* dengan parameter *boundary condition* yang ditetapkan berdasarkan kondisi aktual di lapangan, sementara data pembandingan diperoleh melalui pengukuran langsung menggunakan *data logger* termokopel pada dua elevasi 0,5 m dan 1,5 m dari lantai di tiga baris pengamatan, yaitu baris dekat jendela, baris tengah, dan baris dekat pintu.

Dengan dilakukannya analisis kesesuaian ini, diharapkan dapat diketahui sejauh mana model simulasi *CFD* yang dikembangkan dapat dipercaya untuk merepresentasikan kondisi termal aktual pada ruang kelas A.110. Apabila tingkat kesesuaian yang diperoleh berada dalam batas yang dapat diterima, maka pendekatan dan metodologi pemodelan yang digunakan pada penelitian ini berpotensi diterapkan pada studi-studi simulasi serupa dengan tingkat keyakinan yang lebih tinggi terhadap keandalan hasilnya.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode simulasi *Computational Fluid Dynamics (CFD)* untuk menganalisis distribusi suhu dan kenyamanan termal pada ruang kelas A.110 Gedung A Politeknik Negeri Jakarta. Untuk diimensi ruang kelas, ukuran jendela, dan arah jendela disajikan pada Tabel 1. Variabel yang dikaji meliputi suhu udara, kelembapan relatif (*relative humidity*), dan kecepatan udara yang dihasilkan oleh sistem pendingin udara. Pengukuran suhu udara dilakukan secara langsung menggunakan termokopel. Adapun kecepatan udara pada keluaran *AC* diukur menggunakan anemometer.

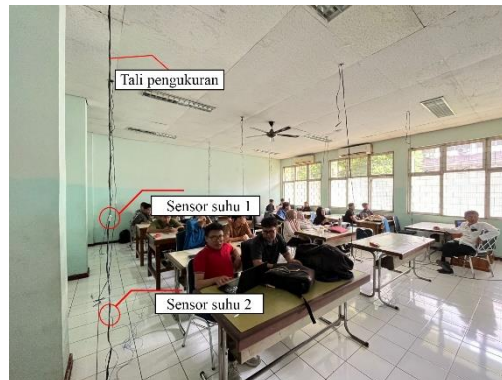
Tabel 1 Detail komponen ruang kelas

| Komponen                              | Keterangan        |
|---------------------------------------|-------------------|
| Dimensi ruang kelas (m <sup>2</sup> ) | 62,33             |
| Banyak jendela                        | 9                 |
| Ukuran jendela (cm)                   | P: 19,5 x L: 23,8 |

| Komponen           | Keterangan |
|--------------------|------------|
| Arah hadap jendela | Utara      |

### Pengambilan Data Eksperimen

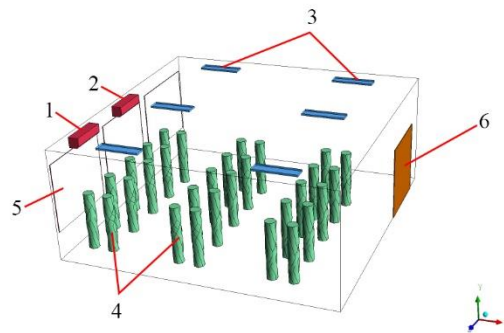
Pengukuran distribusi suhu di dalam ruang kelas dilakukan dengan menempatkan sensor suhu pada tali yang dipasang secara vertikal dari permukaan lantai hingga plafon, seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Instrumen yang digunakan dalam pengukuran ini adalah *TASI TA612C Data Logger*, yang mampu mengukur suhu pada rentang  $-200^{\circ}\text{C}$  sampai  $1372^{\circ}\text{C}$  dengan akurasi  $\pm 0,2\%$  atau  $0,7^{\circ}\text{C}$ . Pengambilan data dilakukan pada jam 07:00 – 09:00 waktu lokal (WIB). Data hasil pengukuran yang digunakan merupakan data pada rentang waktu menit ke-80 hingga ke-120 ketika kondisi ruangan sudah *steady* atau suhu menunjukkan perubahan yang relatif kecil terhadap waktu.



Gambar 1 Pengambilan data suhu pada ruang kelas A.110

### Pembuatan Model Geometri Tiga Dimensi dan Penetapan Parameter

Sebagai representasi kondisi aktual, ruang kelas A.110 dimodelkan dalam bentuk geometri tiga dimensi (3D) yang ditunjukkan pada Gambar 2



Gambar 2 Model tiga dimensi ruang kelas A.110

Pemodelan tiga dimensi ruang kelas A.110 melibatkan beberapa komponen – komponen yang berada di dalam ruangan untuk digunakan sebagai dasar dalam simulasi *CFD*. Detail komponen dan parameter simulasi yang diterapkan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Detail komponen dan pengaturan parameter simulasi

| Keterangan Nomor | Nama Komponen | Type                  | Value                                     |
|------------------|---------------|-----------------------|-------------------------------------------|
| 1                | AC 1          | <i>Velocity Inlet</i> | T : $17^{\circ}\text{C}$ , V : 1,3 m/s    |
| 2                | AC 2          | <i>Velocity Inlet</i> | T : $24^{\circ}\text{C}$ , V : 2,2 m/s    |
| 3                | Lampu         | <i>Wall</i>           | <i>Heat flux</i> : $9 \text{ W/m}^2$ [7]  |
| 4                | Penghuni      | <i>Wall</i>           | <i>Heat flux</i> : $60 \text{ W/m}^2$ [8] |
| 5                | Jendela       | <i>Wall</i>           | T: $32^{\circ}\text{C}$                   |

| Keterangan Nomor | Nama Komponen | Type | Value     |
|------------------|---------------|------|-----------|
| 6                | Tembok dalam  | Wall | T: 27°C   |
| 7                | Pintu         | Wall | Adiabatik |

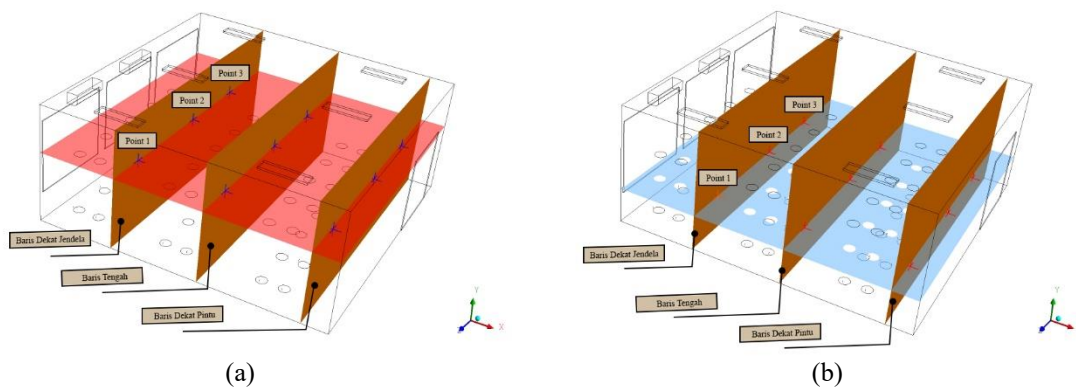
Agar simulasi berjalan sesuai dengan keadaan ruangan, jenis material yang digunakan dibuat semirip mungkin dengan material di ruang kelas A.110. Material solid yang untuk tembok bagian dalam dan pintu adalah batu bata atau semen [9]. Untuk atap ruangan dan penghuni menggunakan material *gypsum* dan aluminium dengan properti material yang sudah disediakan oleh *Ansys*. Dalam simulasi ini, udara dimodelkan sebagai fluida gas satu fasa [10]. Seperti pada Tabel 3.

Tabel 3 Properti fluida gas 1 fasa

| Properti                          | Nilai                   |
|-----------------------------------|-------------------------|
| Massa Jenis (kg/m <sup>3</sup> )  | 1,225                   |
| Viskositas (kg/m-s)               | 1,79 x 10 <sup>-5</sup> |
| Kapasitas kalor spesifik (J/kg-K) | 1006,43                 |
| Konduktivitas termal (W/m-K)      | 0,0242                  |

### Pengambilan Hasil

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, diperoleh hasil berupa pola aliran udara (*streamline*) dan distribusi suhu di dalam ruang kelas A.110. Untuk menampilkan hasil simulasi secara lebih detail, digunakan fitur *plane* yang berfungsi untuk memvisualisasikan sebaran suhu dan kecepatan udara pada bidang tertentu. Pada pengukuran kondisi aktual, pengambilan data dilakukan pada dua elevasi yang berbeda, yaitu 1,5 m dan 0,5 m dari permukaan lantai [11]. Elevasi 1,5 m direpresentasikan oleh *plane* berwarna merah, sedangkan elevasi 0,5 m direpresentasikan oleh *plane* berwarna biru. Selain itu, pengukuran kondisi aktual menggunakan total 2 sensor yang ditempatkan setiap titik (*point*) pada tiga lokasi pengukuran, yaitu baris dekat jendela, baris tengah, dan baris dekat pintu, sebagaimana ditunjukkan oleh *plane* berwarna cokelat. Jadi banyak sensor yang digunakan dalam satu ruangan yaitu 18 sensor.



Gambar 3 Visualisasi (a) pengukuran pada elevasi 1,5 meter dan (b) pengukuran pada elevasi 0,5 meter

### Validasi Hasil CFD Terhadap Eksperimen

Analisis kesesuaian hasil simulasi *CFD* terhadap eksperimen dilakukan menggunakan metode *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)* dan *Root Mean Squared Error (RMSE)*. Model simulasi dianggap memiliki tingkat kesesuaian yang baik apabila menghasilkan nilai *MAPE* di bawah 10% dan nilai *RMSE* kurang dari 5°C [6]. Perbandingan dilakukan berdasarkan nilai suhu udara pada setiap titik pengukuran. Tingkat akurasi model dievaluasi menggunakan metode *RMSE* dan *MAPE* untuk mengetahui sejauh mana model *CFD* mampu merepresentasikan kondisi termal aktual di dalam ruangan [6].

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|X_i - Y_i|}{|X_i|} 100\% \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_i^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (2)$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

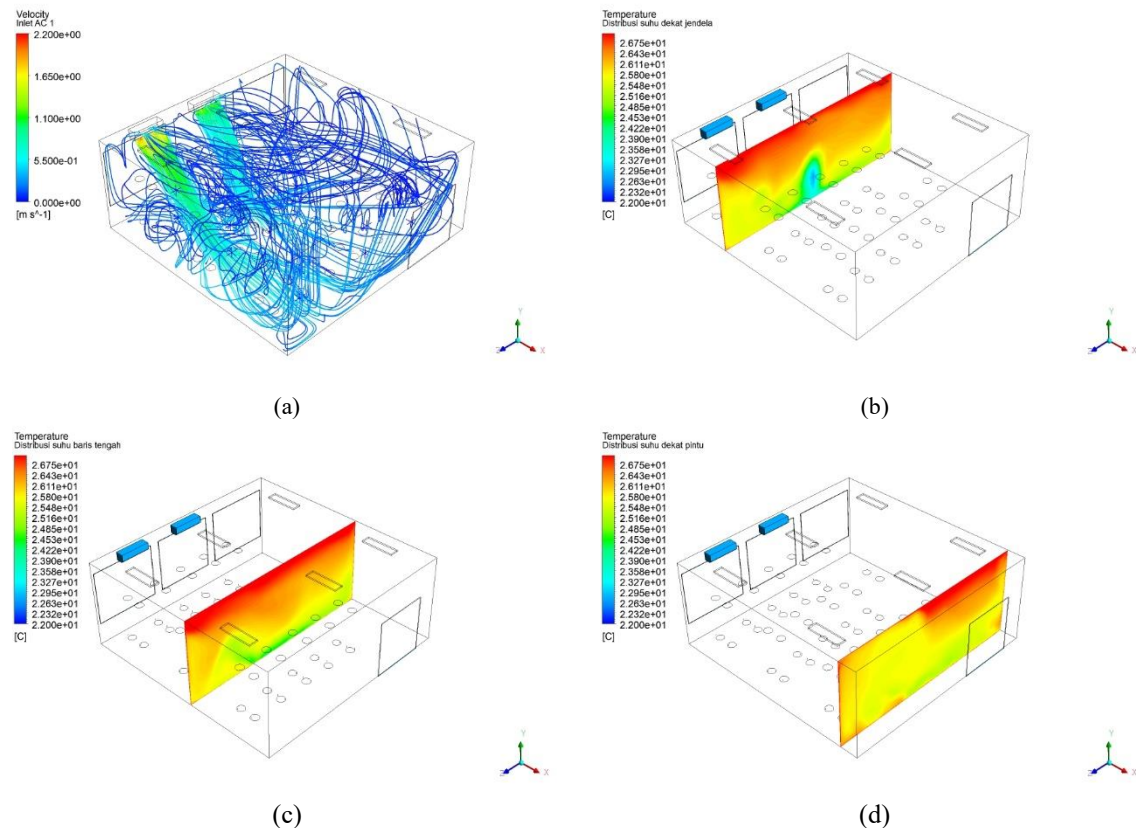
#### Hasil Pengukuran Suhu Eksperimen

Hasil pengukuran suhu pada ruang kelas A.110 disajikan pada Tabel 4. Pengukuran dilakukan pada tiga baris pengamatan, yaitu baris dekat jendela, baris tengah, dan baris dekat pintu, dengan dua ketinggian pengukuran, yaitu 0,5 m dan 1,5 m dari permukaan lantai. Data suhu ini digunakan untuk menggambarkan kondisi termal aktual di dalam ruangan serta sebagai data pembandingan dalam proses validasi simulasi *CFD*

Tabel 4 Hasil pengukuran suhu eksperimen

| Ruang A.110              | Point 1 |       | Point 2 |       | Point 3 |       |
|--------------------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
|                          | 0,5 m   | 1,5 m | 0,5 m   | 1,5 m | 0,5 m   | 1,5 m |
| Baris dekat jendela (°C) | 26,16   | 26,58 | 23,60   | 26,30 | 26,72   | 27,12 |
| Baris tengah (°C)        | 26,42   | 26,38 | 26,37   | 26,64 | 26,47   | 27,06 |
| Baris dekat pintu (°C)   | 26,42   | 27,07 | 25,77   | 26,71 | 26,47   | 27,19 |

#### Hasil Simulasi *CFD*



Gambar 4 (a) *streamline*, (b) distribusi suhu dekat jendela, (c) distribusi suhu baris tengah, (d) distribusi suhu dekat pintu

Berdasarkan Gambar 4 (a), aliran udara pada ruang A.110 didominasi oleh hembusan dari kedua unit *AC* yang bergerak menuju area tengah sebelum mengalami pembelokan dan membentuk sirkulasi di dalam ruangan. Pola aliran ini menunjukkan bahwa udara dingin dapat menjangkau sebagian besar area pengamatan meskipun masih terdapat beberapa zona resirkulasi pada bagian dekat pintu. Sementara itu, Gambar 4 (b)

menunjukkan distribusi suhu dekat jendela berada pada rentang 22,20°C hingga 26,75°C. Zona bersuhu rendah terkonsentrasi tepat di bawah jalur hembusan AC, sedangkan suhu yang lebih tinggi masih terlihat di area dekat plafon. Pada Gambar 4 (c), distribusi suhu pada baris tengah menunjukkan rentang suhu sekitar 22,0–26,75°C. Suhu yang lebih rendah terkonsentrasi pada bagian bawah ruangan sekitar 24°C–25°C, terutama di area yang langsung dipengaruhi oleh aliran udara dingin dari AC, sedangkan suhu meningkat secara bertahap menuju bagian atas hingga mendekati plafon. Hal ini menunjukkan adanya gradien suhu vertikal, meskipun perbedaannya tidak terlalu besar. Sementara itu, Gambar 4 (d) memperlihatkan distribusi suhu dekat pintu dengan rentang suhu 22,0–26,75°C. Sebagian besar area dekat pintu didominasi suhu sekitar 25–26°C, menunjukkan bahwa udara dingin masih dapat menjangkau zona tersebut.

### Nilai Suhu Pada Titik Pengukuran Simulasi CFD

Nilai suhu pada simulasi CFD diambil pada lokasi yang sesuai dengan titik pengukuran eksperimen, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Penyesuaian titik pengambilan data tersebut bertujuan agar hasil simulasi CFD dapat dibandingkan secara langsung dengan kondisi aktual, sehingga proses validasi model dapat dilakukan dengan lebih akurat.

Tabel 5 Suhu hasil simulasi CFD

| Ruang A.110              | Point 1 |       | Point 2 |       | Point 3 |       |
|--------------------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
|                          | 0,5 m   | 1,5 m | 0,5 m   | 1,5 m | 0,5 m   | 1,5 m |
| Baris dekat jendela (°C) | 25,66   | 26,01 | 23,01   | 26,06 | 25,84   | 26,22 |
| Baris tengah (°C)        | 26,18   | 26,18 | 26,00   | 26,37 | 25,77   | 26,16 |
| Baris dekat pintu (°C)   | 25,60   | 25,81 | 25,66   | 25,79 | 25,52   | 26,28 |

### Validasi Hasil Computational Fluid Dynamics (CFD) dan Hasil Eksperimen

Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi CFD terhadap data eksperimen guna menilai tingkat kesesuaian dan akurasi model dalam memprediksi kondisi termal ruang [6]. Hasil validasi ini digunakan untuk memastikan bahwa model simulasi yang dikembangkan mampu merepresentasikan kondisi nyata.

Tabel 6 Validasi hasil CFD dan hasil eksperimen pada elevasi pengukuran 0,5 meter

| Ruang: A.110 - Ketinggian 0,5 (m) |           |                      |                    |                   |                   |
|-----------------------------------|-----------|----------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| Lokasi                            | Titik (P) | Suhu Eksperimen (°C) | Suhu Simulasi (°C) | Error Relatif (%) | Selisih Suhu (°C) |
| Baris dekat jendela               | P1        | 26,16                | 25,66              | 1,91              | 0,50              |
| Baris tengah                      | P1        | 26,42                | 26,18              | 0,90              | 0,24              |
| Baris dekat pintu                 | P1        | 26,42                | 25,60              | 3,11              | 0,82              |
| Baris dekat jendela               | P2        | 23,60                | 23,01              | 2,50              | 0,59              |
| Baris tengah                      | P2        | 26,37                | 26,00              | 1,40              | 0,37              |
| Baris dekat pintu                 | P2        | 25,77                | 25,66              | 0,41              | 0,10              |
| Baris dekat jendela               | P3        | 26,72                | 25,84              | 3,29              | 0,88              |
| Baris tengah                      | P3        | 26,47                | 25,77              | 2,56              | 0,70              |
| Baris dekat pintu                 | P3        | 26,47                | 25,52              | 3,58              | 0,95              |

Berdasarkan Tabel 6, hasil simulasi CFD pada Ruang A110 dengan elevasi 0,5 meter menunjukkan kesesuaian yang baik terhadap data eksperimen pada seluruh titik validasi. Nilai *error* relatif berada pada rentang 0,41% hingga 3,58%, sedangkan selisih suhu berkisar antara 0,10°C hingga 0,95°C.

Tabel 7 Validasi hasil CFD dan hasil eksperimen pada elevasi pengukuran 1,5 meter

| Ruang: A.110 - Ketinggian 1,5 (m) |           |                      |                    |                   |                   |
|-----------------------------------|-----------|----------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| Lokasi                            | Titik (P) | Suhu Eksperimen (°C) | Suhu Simulasi (°C) | Error Relatif (%) | Selisih Suhu (°C) |
| Baris dekat jendela               | P1        | 26,58                | 26,01              | 2,14              | 0,57              |
| Baris tengah                      | P1        | 26,38                | 26,18              | 0,76              | 0,20              |

| Ruang: A.110 - Ketinggian 1,5 (m) |           |                      |                    |                   |                   |
|-----------------------------------|-----------|----------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| Lokasi                            | Titik (P) | Suhu Eksperimen (°C) | Suhu Simulasi (°C) | Error Relatif (%) | Selisih Suhu (°C) |
| Baris dekat pintu                 | P1        | 27,07                | 25,81              | 4,64              | 1,26              |
| Baris dekat jendela               | P2        | 26,30                | 26,06              | 0,91              | 0,24              |
| Baris tengah                      | P2        | 26,63                | 26,37              | 0,97              | 0,26              |
| Baris dekat pintu                 | P2        | 26,71                | 25,79              | 3,46              | 0,92              |
| Baris dekat jendela               | P3        | 27,12                | 26,22              | 3,31              | 0,90              |
| Baris tengah                      | P3        | 27,06                | 26,16              | 3,32              | 0,90              |
| Baris dekat pintu                 | P3        | 27,19                | 26,28              | 3,34              | 0,91              |

Berdasarkan Tabel 7, hasil simulasi *CFD* pada Ruang A.110 dengan elevasi 1,5 meter menunjukkan kesesuaian yang baik terhadap data eksperimen pada seluruh titik validasi. Nilai *error* relatif berada pada rentang 0,76% hingga 4,64%, sedangkan selisih suhu berkisar antara 0,20°C hingga 1,26°C. Untuk memperoleh nilai validasi yang mewakili kondisi termal ruang secara keseluruhan, hasil pengukuran dan simulasi pada dua elevasi, yaitu 0,5 m dan 1,5 m dari lantai, dirata-ratakan terlebih dahulu. Nilai rata-rata tersebut kemudian digunakan untuk menghitung parameter validasi berupa *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)* dan *Root Mean Square Error (RMSE)*. Hasil perhitungan *MAPE* dan *RMSE* ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8 Nilai hasil *MAPE* dan *RMSE* pada ruang kelas A.110

| Ruang Kelas | <i>MAPE</i> (%) | <i>RMSE</i> (°C) |
|-------------|-----------------|------------------|
| A110        | 2,37            | 0,63             |

Berdasarkan Tabel 8, diperoleh nilai *MAPE* sebesar 2,37% dan *RMSE* sebesar 0,63°C untuk ruang kelas A.110. Nilai *MAPE* yang berada di bawah batas 10% menunjukkan bahwa rata-rata persentase kesalahan antara hasil simulasi *CFD* dan data eksperimen relatif kecil. Selain itu, nilai *RMSE* yang hanya sebesar 0,63°C dan jauh di bawah batas 5°C mengindikasikan bahwa deviasi suhu hasil simulasi terhadap hasil pengukuran sangat rendah. Hasil tersebut menunjukkan bahwa model *CFD* yang dikembangkan memiliki tingkat akurasi dan kesesuaian yang baik dalam memprediksi kondisi termal ruang kelas A.110. Dengan demikian, model simulasi dapat dianggap valid dan mampu merepresentasikan kondisi aktual di dalam ruangan.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi *Computational Fluid Dynamics (CFD)* dan validasi terhadap data eksperimen pada ruang kelas A.110, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Hasil validasi pada elevasi 0,5 m menunjukkan error relatif berkisar 0,41% – 3,58% dengan selisih suhu 0,10°C – 0,95°C, sedangkan pada elevasi 1,5 m error relatif berkisar 0,76% – 4,64% dengan selisih suhu 0,20°C – 1,26°C, yang menunjukkan kesesuaian yang baik antara simulasi dan eksperimen pada seluruh titik pengukuran.
2. Secara keseluruhan, model *CFD* untuk ruang kelas A.110 menghasilkan nilai *MAPE* sebesar 2,37% dan *RMSE* sebesar 0,63°C, yang keduanya jauh berada di bawah ambang batas yang ditetapkan *MAPE* < 10% dan *RMSE* < 5°C. Hal ini mengindikasikan bahwa model simulasi *CFD* yang dikembangkan memiliki tingkat akurasi dan kesesuaian yang baik dalam memprediksi distribusi suhu aktual.
3. Distribusi suhu hasil simulasi menunjukkan gradien suhu vertikal pada ketiga baris pengamatan (dekat jendela, tengah, dan dekat pintu), dengan suhu yang lebih rendah terkonsentrasi pada area yang langsung terkena aliran udara dingin dari AC, dan suhu meningkat secara bertahap menuju plafon.

#### REFERENSI

- [1] S. Maulana, “Pemanfaatan Computational Fluid Dynamics (CFD) Dalam Strategi Penelitian Simulasi Model Pada Teknologi Penghawaan Ruang,” *JURNAL EDUCATION BUILDING*, vol. 2, no. 2, pp. 2477–4898, 2016.
- [2] Q. Liang, Y. Miao, G. Zhang, and S. Liu, “Simulating Microscale Urban Airflow and Pollutant Distributions Based on Computational Fluid Dynamics Model: A Review,” Nov. 01, 2023, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/toxics11110927.

- [3] A. Agung Pratama *et al.*, “Simulasi Distribusi Udara Dalam Kabin Mobil Listrik Berkapasitas Dua Orang Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics,” *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta*, pp. 933–941, 2022, [Online]. Available: <http://prosiding.pnj.ac.id>
- [4] C. Anam, R. Subarkah, and A. E. Yuliana, “Analisa Pipa Header Setelah Penggabungan Sumur Baru PLTP Klaster 3 di PLTP Area Karaha Tasikmalaya Menggunakan Software Ansys Workbench,” pp. 915–923, 2024, [Online]. Available: <http://prosiding.pnj.ac.id>
- [5] I. P. Widiarta, M. Suarda, M. Sucipta, and I. G. K. Sukadana, “Simulasi CFD Pertukaran Udara di Ruang Tindakan Klinik Kesehatan,” *Jurnal METTEK*, vol. 8, no. 2, p. 83, Nov. 2022, doi: 10.24843/mettek.2022.v08.i02.p03.
- [6] R. A. Khasanah, N. Dwi, G. Drantantiyas, T. P. Ningsih, Z. F. Situmorang, and M. F. Bagaskara, “Analysis of Thermal Distribution and Airflow in a Confined Classroom: RoomE303, Sumatera Institute of Technology,” *Jurnal IPTEK*, vol. 29, 2025, doi: 10.31284/j.iptek.2025.v29i2.
- [7] L. Chang, W. J. Luo, I. Permana, B. Y. Prasetyo, A. P. Agharid, and F. Wang, “Energy-Efficient Air Conditioning System with Combined a Ceiling Fan for Thermal Comfort in an Office,” *Energy Engineering: Journal of the Association of Energy Engineering*, vol. 122, no. 5, pp. 1771–1787, 2025, doi: 10.32604/ee.2025.062209.
- [8] ASHRAE Standard 55, “Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy,” 2023. [Online]. Available: [www.ashrae.org/55Files](http://www.ashrae.org/55Files)
- [9] D. Toguyeni and O. Coulibaly, “Study of the influence of local materials insulation on cooling loads of a house made of breeze block or laterite in a dry tropical climate,” *Journal of Renewable Energies*, vol. 16, no. 4, Oct. 2023, doi: 10.54966/jreen.v16i4.414.
- [10] J. Prathana Liawan and H. Tanujaya dan Steven Darmawan, “Jurnal Asimetri: Jurnal Ilmiah Rekayasa Dan Inovasi Analisis Aliran Udara dan Kenyamanan Termal di Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD),” vol. 5, pp. 123–134, 2023.
- [11] A. Khalil, M. M. Bassuoni, M. O. Elsamadony, and M. A. Raslan, “Assessment of Thermal Comfort in Operating Rooms Using PMV-PPD Model,” *Journal of Engineering Research*, vol. 2, p. 51, 2020.