
STUDI PENGKONDISIAN ALIRAN UDARA PADA AC LABORATORIUM PNEUMATIK MENGGUNAKAN METODE CFD DENGAN SOFTWARE OPENFOAM

David Firmansyah¹, Aminatus Sa'diyah², Yulia Ayu Nastiti³.

^{1,3}Program Studi D3 Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, ²Program Studi D4 Teknik Rekayasa Energi Berkelanjutan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

Jalan Teknik Kimia, Kampus ITS, Keputih, Sukolilo, Kota Surabaya, Jawa Timur 60111

Email : davidfirmansyah17@student.ppns.ac.id

ABSTRAK

Laboratorium Pneumatik PPNS memerlukan distribusi udara yang merata untuk Laboratorium Pneumatik Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS) memerlukan distribusi aliran udara yang merata untuk menciptakan kenyamanan termal sesuai SNI 6390:2020. Penelitian ini bertujuan menganalisis distribusi temperatur dan aliran udara pada sistem Air Conditioning (AC) menggunakan metode Computational Fluid Dynamics (CFD) berbasis OpenFOAM serta mengevaluasi pengaruh variasi penempatan AC terhadap kenyamanan termal. Penelitian dilakukan melalui pengukuran temperatur dan kecepatan udara pada 30 titik, perhitungan beban pendingin, pemodelan tiga dimensi, simulasi menggunakan solver buoyantSimpleFoam, dan validasi menggunakan Root Mean Square Error (RMSE). Hasil perhitungan menunjukkan beban panas transmisi sebesar 396,44 W, beban panas penghuni sebesar 2.574 W, dan beban panas rambatan jendela sebesar 819,84 W. Hasil validasi menghasilkan nilai RMSE sebesar 1,101, yang menunjukkan model simulasi memiliki tingkat akurasi yang baik. Analisis Coefficient of Variation (COV) menunjukkan kondisi aktual sebesar 3,14%, kondisi eksisting 2,02%, dan variasi penempatan AC 1,07%. Penurunan nilai COV menunjukkan bahwa variasi penempatan AC menghasilkan distribusi temperatur yang paling seragam dibandingkan kondisi aktual dan eksisting, sehingga direkomendasikan sebagai konfigurasi yang efektif untuk meningkatkan kenyamanan termal Laboratorium Pneumatik sesuai SNI 6390:2020.

Kata kunci: Computational Fluid Dynamics (CFD), OpenFOAM, Air Conditioning, distribusi udara, temperatur, kenyamanan termal.

ABSTRACT

The Pneumatic Laboratory at Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS) requires a uniform airflow distribution to achieve thermal comfort in accordance with SNI 6390:2020. This study aims to analyze the temperature and airflow distribution of the Air Conditioning (AC) system using Computational Fluid Dynamics (CFD) with OpenFOAM and to evaluate the effect of AC repositioning on thermal comfort. The research was conducted through temperature and air velocity measurements at 30 points, cooling load calculations, three-dimensional modeling, simulations using the buoyantSimpleFoam solver, and validation using the Root Mean Square Error (RMSE) method. The results showed transmission heat loads of 396.44 W, occupant heat loads of 2,574 W, and window heat gains of 819.84 W. The validation produced an RMSE value of 1.101, indicating that the numerical model accurately represents the actual conditions. The Coefficient of Variation (COV) analysis yielded values of 3.14% for the actual condition, 2.02% for the existing configuration, and 1.07% for the proposed AC configuration. The lower COV value demonstrates a more uniform temperature distribution, indicating that the proposed AC placement provides the best thermal performance and is recommended to improve indoor thermal comfort in accordance with SNI 6390:2020.

Keywords: Computational Fluid Dynamics (CFD), OpenFOAM, Air Conditioning, airflow distribution, temperature distribution, thermal comfort.

Jejak Artikel

Upload artikel : 30 Juni 2026

Revisi : 15 Juli 2026

Publish : 12 Agustus 2026

1. PENDAHULUAN

Kenyamanan termal dan kualitas udara merupakan faktor penting dalam menunjang aktivitas pembelajaran dan praktikum di lingkungan Pendidikan, khususnya di ruang laboratorium pneumatik ppns. Aktivitas tersebut melibatkan penggunaan peralatan mekanik dan pneumatic yang dapat menghasilkan panas, sehingga mempengaruhi kondisi termal di dalam ruangan (AZZAMUDIN, 2017). Szokolay (1980) menyebutkan kenyamanan sangat bergantung pada variabel iklim, seperti radiasi akibat paparan matahari, suhu udara, kelembapan udara, dan juga kecepatan angin di sekitar bangunan. Meningkatnya suhu bumi akibat pemanasan global mengakibatkan kecenderungan manusia berbagai negara untuk menciptakan rekayasa pengkondisian udara guna memperoleh temperature nyaman dalam ruangan.

Untuk menjaga kondisi lingkungan yang nyaman dan memenuhi SNI 6390:2020 bahwa temperatur udara ruangan untuk aktivitas ringan hingga sedang pada bangunan Pendidikan umumnya berada pada rentang 23-26 C dengan kelembapan sekitar 50-70% (Indonesia, 2020).

Laboratorium Pneumatik PPNS dilengkapi dengan sistem Air Conditioning (AC). Sistem AC berperan dalam mengatur temperatur serta sirkulasi udara di dalam ruangan agar berada pada rentang kenyamanan termal bagi pengguna laboratorium. Namun, sering kali distribusi aliran udara yang dihasilkan tidak merata sehingga menimbulkan permasalahan teknis maupun operasional. Ketidakmerataan distribusi udara di AC dapat menimbulkan perbedaan temperature pada beberapa titik ruangan, munculnya zona panas dan zona dingin di dalam ruangan serta aliran udara yang kurang optimal. Kondisi ini dapat menyebabkan penurunan tingkat kenyamanan, konsentrasi, dan kinerja pengguna selama melakukan kegiatan praktikum di Laboratorium.

Permasalahan ditribsi udara ini menuntut adanya pendekatan analisis yang mampu memetakan pola aliran udara secara detail. Metode eksperimental konvensional sering kali membutuhkan biaya besar, waktu lama, serta instrument pengukuran yang kompleks. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode alternatif

yang lebih efisien, fleksibel dan mampu memberikan Gambaran menyeluruh mengenai perilaku aliran udara di dalam ruangan. Salah satu metode yang relevan adalah *Computational Fluid Dynamics (CFD)*, yang memungkinkan simulasi numerik terhadap fenomena aliran fluida dan perpindahan panas. (Maulana et al., 2024)

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis distribusi udara pada sistem AC di Laboratorium Pneumatik PPNS dengan menggunakan metode Computational Fluid Dynamics. Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan Gambaran mengenai pola aliran udara dan distribusi temperature di dalam ruangan, serta dapat dijadikan sebagai dasar dalam memberikan rekomendasi perbaikan system ditribusi udara guna meningkatkan kenyamanan termal di laboratorium.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Pneumatik Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS). Pengambilan data dilakukan secara langsung pada ruang laboratorium untuk memperoleh parameter yang digunakan sebagai input simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD). Parameter yang diukur meliputi temperatur udara, kecepatan aliran udara, dimensi ruangan. Pengukuran dilakukan pada kondisi operasional laboratorium sehingga mampu merepresentasikan kondisi aktual distribusi udara di dalam ruangan.

2.2 Pengumpulan Data

Data penelitian terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan menggunakan alat ukur *Anemometer* dan *Thermocouple*. Pengukuran dilakukan pada 30 titik pengamatan yang tersebar merata di dalam ruangan sesuai tata letak pengukuran untuk memperoleh distribusi temperatur dan kecepatan udara.

Selain data temperatur dan kecepatan udara, dilakukan pengukuran dimensi ruangan, posisi Air Conditioning (AC), ukuran bukaan ruangan, serta karakteristik material penyusun bangunan. Data tersebut digunakan sebagai dasar dalam penyusunan model geometri tiga dimensi pada proses simulasi CFD.

Data sekunder diperoleh melalui studi literatur yang meliputi standar kenyamanan termal SNI 6390:2020, referensi mengenai perpindahan panas, sistem Air Conditioning (AC), serta penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penerapan *Computational Fluid Dynamics* (CFD).

2.3 Perhitungan Beban Pendingin

Sebelum dilakukan simulasi numerik, terlebih dahulu dihitung beban pendingin ruangan sebagai sumber panas pada model CFD. Beban panas yang diperhitungkan meliputi:

- Beban panas transmisi melalui dinding, lantai, dan plafon;
- Beban panas akibat rambatan melalui jendela;
- Beban panas yang berasal dari penghuni ruangan.

Perhitungan beban panas transmisi menggunakan Persamaan (1).

$$Q_{TR} = U \times A \times \Delta T$$

dengan:

Q_{TR} = beban panas transmisi (W)

U = koefisien perpindahan panas menyeluruh (W/m²K)

A = luas bidang perpindahan panas (m²)

ΔT = perbedaan temperatur (K)

Perhitungan total beban panas dilakukan dengan menjumlahkan seluruh komponen beban panas yang bekerja pada ruangan

sehingga diperoleh nilai beban pendingin yang digunakan sebagai input simulasi.

2.4 Pemodelan *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

Pemodelan numerik dilakukan menggunakan perangkat lunak *OpenFOAM*. Geometri Laboratorium Pneumatik dibuat berdasarkan hasil pengukuran aktual yang meliputi dimensi ruangan, posisi Air Conditioning (AC), pintu, jendela, serta elemen pendukung lainnya. Selanjutnya dilakukan proses *meshing* untuk membagi domain komputasi menjadi sejumlah sel sebagai media penyelesaian numerik.

Simulasi dilakukan menggunakan solver *buoyantSimpleFoam*, yang mampu menyelesaikan aliran tunak (*steady-state*) dengan mempertimbangkan pengaruh perpindahan panas akibat gaya apung (*buoyancy*). Tahapan simulasi meliputi proses *pre-processing*, *solving*, dan *post-processing* untuk memperoleh distribusi temperatur, pola aliran udara, dan visualisasi *streamline*.

2.5 Skenario Simulasi

Penelitian ini menggunakan dua skenario simulasi untuk mengevaluasi pengaruh konfigurasi penempatan Air Conditioning (AC) terhadap distribusi temperatur di dalam laboratorium.

Skenario pertama merupakan konfigurasi eksisting, yaitu kondisi aktual penempatan AC sesuai dengan keadaan Laboratorium Pneumatik PPNS pada saat pengambilan data. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik distribusi temperatur dan pola aliran udara yang dihasilkan sistem pendingin pada kondisi sebenarnya.

Skenario kedua merupakan konfigurasi hasil modifikasi, yaitu perubahan posisi Air Conditioning (AC) dengan tujuan

meningkatkan penyebaran udara dingin ke seluruh area laboratorium. Pada skenario ini, seluruh parameter simulasi dibuat sama dengan konfigurasi eksisting, termasuk geometri ruangan, beban panas, sifat termofisika udara, dan kondisi batas. Perbedaan yang diterapkan hanya terletak pada posisi unit Air Conditioning (AC), sehingga perubahan distribusi temperatur yang terjadi sepenuhnya disebabkan oleh perubahan konfigurasi penempatan AC.

Perbandingan kedua skenario dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas modifikasi posisi AC terhadap peningkatan keseragaman distribusi temperatur dan kenyamanan termal laboratorium.

2.6 Kondisi Batas (*Boundary Condition*)

Kondisi batas (*boundary condition*) pada kedua model simulasi disusun berdasarkan hasil pengukuran lapangan. Temperatur dan kecepatan udara pada sisi masuk (*inlet*) ditentukan sesuai kondisi aktual Air Conditioning (AC), sedangkan sisi keluar (*outlet*) menggunakan tekanan atmosfer. Dinding, lantai, plafon, dan elemen bangunan lainnya diberikan kondisi batas berdasarkan hasil perhitungan beban panas.

Seluruh parameter simulasi dibuat identik pada kedua skenario sehingga perbedaan hasil simulasi hanya dipengaruhi oleh perubahan konfigurasi penempatan Air Conditioning (AC).

2.7 Grid Independence dan Validasi Model

Pengujian Grid Independence dilakukan untuk memperoleh jumlah elemen (*mesh*) yang mampu menghasilkan solusi numerik stabil tanpa meningkatkan waktu komputasi secara signifikan. Beberapa variasi jumlah sel digunakan dan dibandingkan berdasarkan perubahan temperatur hasil simulasi.

Model numerik selanjutnya divalidasi menggunakan metode *Root Mean Square Error* (RMSE) melalui perbandingan temperatur hasil simulasi dengan temperatur hasil pengukuran aktual pada 30 titik pengamatan. Nilai RMSE digunakan untuk mengevaluasi tingkat kesesuaian model CFD terhadap kondisi aktual laboratorium.

2.8 Metode Analisis

Analisis dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi pada konfigurasi eksisting dan konfigurasi hasil modifikasi. Parameter yang dievaluasi meliputi distribusi temperatur, pola aliran udara (*streamline*), hasil *plot over line* pada setiap *slice*, serta tingkat keseragaman temperatur menggunakan *Coefficient of Variation* (COV).

Perbandingan kedua konfigurasi digunakan untuk menentukan pengaruh perubahan posisi Air Conditioning terhadap efektivitas distribusi udara dan peningkatan kenyamanan termal di dalam Laboratorium Pneumatik PPNS.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Validasi Model *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

Sebelum dilakukan analisis distribusi temperatur, model *Computational Fluid Dynamics* (CFD) terlebih dahulu divalidasi untuk memastikan bahwa model numerik mampu merepresentasikan kondisi aktual Laboratorium Pneumatik PPNS. Validasi dilakukan melalui dua tahapan, yaitu pengujian *grid independence* dan perbandingan temperatur hasil simulasi dengan hasil pengukuran lapangan menggunakan metode *Root Mean Square Error* (RMSE).

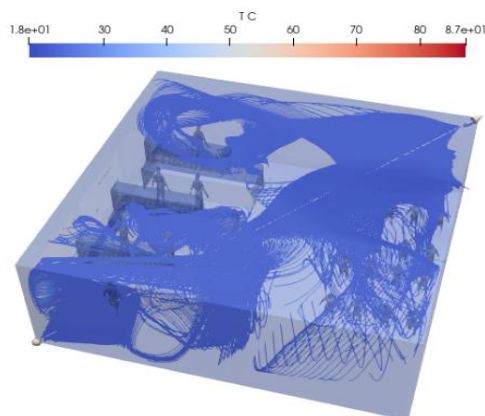
Pengujian *grid independence* dilakukan dengan beberapa variasi jumlah *mesh* untuk memperoleh model yang memberikan hasil simulasi stabil dengan waktu komputasi yang efisien. Hasil pengujian menunjukkan bahwa setelah jumlah *cell* mencapai nilai tertentu, perubahan temperatur hasil simulasi relatif kecil sehingga

mesh yang dipilih telah memenuhi kriteria *independensi grid*.

Selanjutnya dilakukan validasi terhadap temperatur hasil simulasi menggunakan data pengukuran pada 30 titik pengamatan. Hasil perhitungan menunjukkan nilai RMSE sebesar 1,101, yang menunjukkan bahwa model numerik memiliki tingkat kesesuaian yang baik terhadap kondisi aktual laboratorium. Nilai tersebut menunjukkan bahwa parameter masukan, kondisi batas, dan asumsi yang digunakan dalam simulasi mampu menggambarkan karakteristik distribusi temperatur di dalam ruangan sehingga model layak digunakan untuk menganalisis pengaruh perubahan konfigurasi *Air Conditioning* (AC).

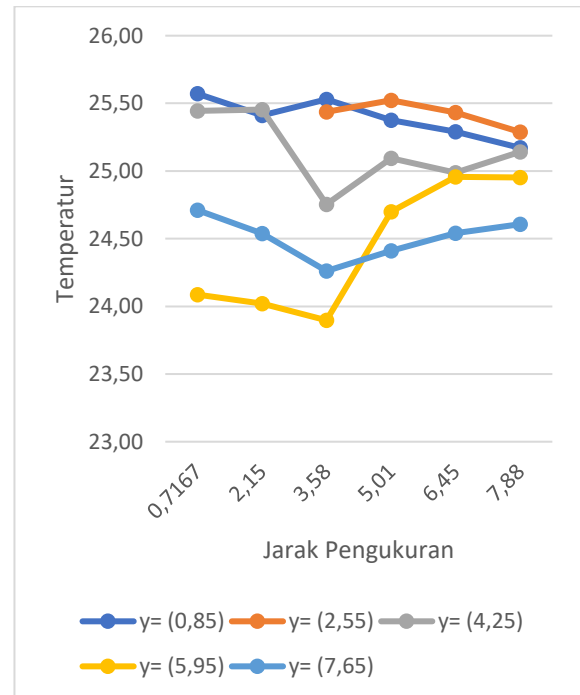
3.2 Distribusi Temperatur pada Konfigurasi Eksisting

Simulasi pertama dilakukan menggunakan konfigurasi *Air Conditioning* (AC) sesuai kondisi aktual Laboratorium Pneumatik PPNS. Visualisasi kontur temperatur menunjukkan bahwa udara dingin yang keluar dari outlet AC membentuk pola penyebaran mengikuti arah semburan (*air jet*). Namun demikian, distribusi udara yang dihasilkan belum mampu menjangkau seluruh area laboratorium secara merata.



Hasil visualisasi *streamline* menunjukkan bahwa sebagian udara dingin mengalami penurunan momentum akibat interaksi dengan udara sekitar serta hambatan berupa dinding, meja praktikum, dan peralatan laboratorium. Kondisi tersebut menyebabkan terbentuknya daerah resirkulasi (*recirculation*) pada beberapa bagian ruangan

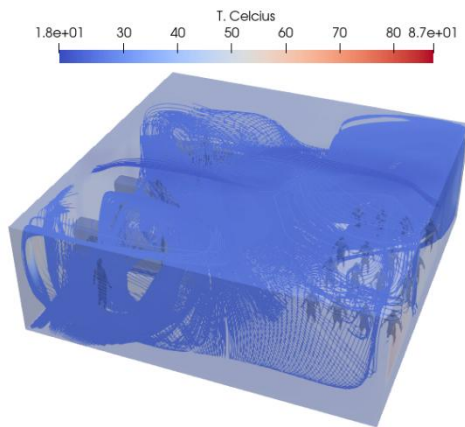
sehingga distribusi temperatur menjadi tidak seragam.



Analisis *plot over line* pada setiap *slice* menunjukkan adanya fluktuasi temperatur antar titik pengamatan. Temperatur terendah berada pada area yang berdekatan dengan outlet AC, sedangkan temperatur tertinggi ditemukan pada area yang relatif jauh dari sumber udara dingin. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa konfigurasi eksisting masih menghasilkan zona panas (*hot spot*) sehingga kenyamanan termal di dalam laboratorium belum optimal.

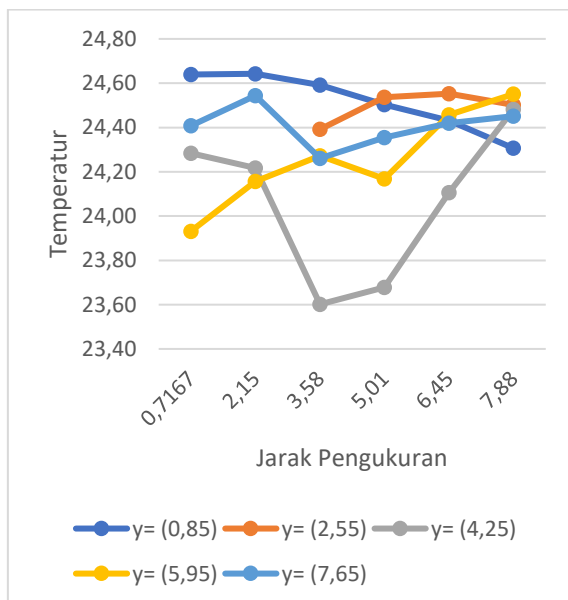
3.3 Distribusi Temperatur pada Konfigurasi Hasil Modifikasi *Air Conditioning*

Untuk meningkatkan efektivitas distribusi udara, dilakukan modifikasi posisi *Air Conditioning* (AC) dengan tetap mempertahankan parameter simulasi lainnya. Perubahan konfigurasi bertujuan memperluas jangkauan udara dingin sehingga mampu menjangkau area laboratorium yang sebelumnya mengalami akumulasi panas.



Hasil simulasi menunjukkan bahwa konfigurasi hasil modifikasi menghasilkan pola distribusi udara yang lebih merata dibandingkan konfigurasi eksisting. Kontur temperatur memperlihatkan penyebaran udara dingin yang lebih luas sehingga daerah dengan temperatur tinggi mengalami penurunan.

Visualisasi *streamline* menunjukkan bahwa perubahan posisi AC menghasilkan lintasan aliran udara yang lebih panjang serta mampu mengurangi daerah resirkulasi yang sebelumnya terbentuk pada konfigurasi eksisting. Akibatnya, udara dingin dapat menjangkau area tengah maupun sudut ruangan secara lebih efektif.



Selain itu, hasil *plot over line* pada setiap *slice* menunjukkan bahwa variasi temperatur antar titik pengamatan menjadi lebih kecil dibandingkan kondisi eksisting. Hal tersebut menunjukkan bahwa konfigurasi hasil

modifikasi mampu meningkatkan homogenitas distribusi temperatur di dalam laboratorium.

3.4 Perbandingan Distribusi Temperatur antara Konfigurasi Eksisting dan Modifikasi Air Conditioning

Perbandingan kedua konfigurasi dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh perubahan posisi Air Conditioning terhadap distribusi temperatur di dalam Laboratorium Pneumatik PPNS. Evaluasi dilakukan berdasarkan visualisasi kontur temperatur, pola *streamline*, hasil *plot over line*, dan nilai *Coefficient of Variation* (COV).

Secara visual, konfigurasi eksisting masih menunjukkan adanya konsentrasi temperatur tinggi pada beberapa area laboratorium yang berada jauh dari outlet AC. Sebaliknya, konfigurasi hasil modifikasi menghasilkan distribusi temperatur yang lebih homogen dengan penyebaran udara dingin yang mampu menjangkau hampir seluruh area ruangan.

Pola *streamline* juga mengalami perubahan yang signifikan. Pada konfigurasi eksisting, lintasan udara cenderung terpusat di sekitar outlet AC sehingga sebagian area ruangan menerima suplai udara dingin yang lebih sedikit. Setelah dilakukan modifikasi posisi AC, lintasan aliran udara menjadi lebih menyebar dan mampu meningkatkan sirkulasi udara pada area yang sebelumnya mengalami stagnasi.

Perbandingan hasil *plot over line* menunjukkan bahwa fluktuasi temperatur pada setiap *slice* mengalami penurunan setelah dilakukan modifikasi. Hal tersebut menunjukkan bahwa distribusi temperatur antar titik pengamatan menjadi lebih seragam sehingga kenyamanan termal di dalam laboratorium meningkat.

3.5 Evaluasi Tingkat Keseragaman Temperatur

Untuk mengevaluasi tingkat keseragaman distribusi temperatur secara kuantitatif digunakan parameter *Coefficient of Variation* (COV). Nilai COV digunakan untuk menunjukkan tingkat variasi temperatur terhadap temperatur rata-rata pada seluruh titik pengamatan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa kondisi aktual memiliki nilai COV sebesar 3,14%,

sedangkan simulasi konfigurasi eksisting menghasilkan nilai 2,02%. Setelah dilakukan modifikasi penempatan Air Conditioning, nilai COV menurun menjadi 1,07%. Penurunan nilai tersebut menunjukkan bahwa perubahan konfigurasi AC mampu meningkatkan homogenitas distribusi temperatur di dalam laboratorium.

Jika dibandingkan dengan konfigurasi eksisting, nilai COV pada konfigurasi hasil modifikasi mengalami penurunan sekitar 47%. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan posisi Air Conditioning memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kualitas distribusi udara tanpa memerlukan penambahan kapasitas sistem pendingin.

3.6 Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa posisi Air Conditioning memiliki pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik distribusi temperatur di dalam Laboratorium Pneumatik PPNS. Pada konfigurasi eksisting, udara dingin belum mampu menjangkau seluruh area laboratorium sehingga masih terbentuk zona dengan temperatur relatif tinggi. Setelah dilakukan modifikasi penempatan AC, distribusi udara menjadi lebih merata yang ditunjukkan oleh penyebaran kontur temperatur yang lebih homogen, pola *streamline* yang lebih efektif, serta penurunan nilai COV.

Temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan kenyamanan termal tidak selalu harus dilakukan melalui penambahan kapasitas pendinginan. Optimasi tata letak Air Conditioning dapat meningkatkan efektivitas distribusi udara dengan memanfaatkan kapasitas sistem yang sudah tersedia. Pendekatan ini memberikan keuntungan dari sisi teknis maupun operasional karena mampu meningkatkan kenyamanan termal tanpa menambah kebutuhan energi maupun investasi peralatan baru.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menganalisis distribusi temperatur dan aliran udara pada Laboratorium Pneumatik Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) berbasis OpenFOAM.

Model numerik yang dikembangkan telah divalidasi menggunakan metode *Root Mean Square Error* (RMSE) dengan nilai sebesar 1,101, sehingga menunjukkan bahwa hasil simulasi memiliki tingkat kesesuaian yang baik terhadap kondisi aktual laboratorium dan layak digunakan untuk analisis distribusi udara.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa konfigurasi Air Conditioning (AC) eksisting masih menghasilkan distribusi temperatur yang kurang merata sehingga terbentuk beberapa area dengan temperatur relatif lebih tinggi. Setelah dilakukan modifikasi penempatan AC, pola aliran udara menjadi lebih efektif dalam menjangkau seluruh area laboratorium. Perubahan konfigurasi tersebut menghasilkan distribusi temperatur yang lebih homogen, ditunjukkan oleh penyebaran kontur temperatur yang lebih merata serta berkurangnya zona panas dibandingkan kondisi eksisting.

Evaluasi menggunakan *Coefficient of Variation* (COV) menunjukkan bahwa nilai COV menurun dari 2,02% pada konfigurasi eksisting menjadi 1,07% setelah dilakukan modifikasi penempatan AC. Penurunan nilai COV tersebut menunjukkan bahwa perubahan posisi AC mampu meningkatkan keseragaman distribusi temperatur di dalam laboratorium tanpa memerlukan penambahan kapasitas sistem pendingin.

Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa peningkatan kenyamanan termal tidak selalu memerlukan penambahan kapasitas sistem pendingin, tetapi dapat dicapai melalui optimasi konfigurasi penempatan Air Conditioning berdasarkan analisis *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Pendekatan ini memberikan alternatif yang lebih sederhana, efisien, dan ekonomis dalam meningkatkan kualitas distribusi udara, serta dapat dijadikan sebagai acuan dalam perancangan maupun evaluasi sistem pengondisian udara pada laboratorium pendidikan dan bangunan dengan karakteristik serupa.

DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE (2023) *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*.
- AZZAMUDIN, R. (2017). *ANALISIS DISTRIBUSI ALIRAN UDARA PADA RUANGAN DENGAN VARIABEL TEMPERATUR DAN PENEMPATAN AC MENGGUNAKAN METODE COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)*.
Indonesia, S. N. (2020). *Konservasi energi sistem tata udara pada bangunan gedung*.
- Jorge, H., Lima, B., Carlos, F., Dantas, C., Alexandre, V., Benachour, M., José, A., Filho, C., Xavier, I., João, L., & Lins, L. (2026). *CFD Simulation and experimental validation of a circulating fluidized bed riser with gamma transmission measurements*.
- Maulana, M. S., Prasetyo, B. Y., & Simbolon, L. M. (2024). *Memfaatkan Simulasi CFD untuk Menganalisa Distribusi Temperatur dan Kecepatan Udara pada Ruang Kelas Kampus Teknik Refrigerasi dan Tata Udara POLBAN*. 2, 24–25.
- PAMUNGKAS, U. A. (2017). *ANALISA KARAKTERISTIK TEMPERATUR DAN KECEPATAN UDARA PADA RUANGAN UNTUK KENYAMANAN TERMAL DENGAN VARIASI KECEPATAN UDARA MENGGUNAKAN METODE COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (CFD)*. UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA.
- Kusuma, G. and Mustaghfirin, M. (2024) “Sistem Pendingin Dan Saluran Udara.”