

Simulasi Komputer Dalam Analisis Pergerakan Fluida

Muhammad Dafa^{1*}, Faizin Labik²

^{1,2} Program Study Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Mataram, Indonesia

* Corresponding author : mdfa341@gmail.com

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article history Received : January 09, 2025 Revised : January 12, 2025 Accepted : February 29, 2025 Published : March 07, 2025 Keywords Computer Simulation Fluid Dynamics Computational Fluid Dynamics Laminar Flow Turbulent Flow  License by CC-BY-SA Copyright © 2025, The Author(s).	Computer simulations have become a highly important tool in the analysis of fluid motion, particularly in the fields of engineering and science. With advancements in computational technology, numerical methods such as Computational Fluid Dynamics (CFD) are increasingly used to accurately model various fluid flow phenomena. This study aims to analyze the effectiveness of computer simulations in understanding fluid dynamics, both in laminar and turbulent flows. The methods employed include the application of numerical algorithms, geometry modeling, and the analysis of physical parameters that influence fluid movement. The simulation results indicate that computer-based approaches can represent flow characteristics with a high level of accuracy, especially under complex boundary conditions. Moreover, simulations allow for cost and time savings compared to physical experiments and offer flexibility in testing various system variables. The conclusion of this research affirms that computer simulation is an effective method for analyzing fluid motion and holds great potential for technological development across various fields, including mechanical engineering, aerospace, and the energy industry.
<i>How to cite:</i> Dafa, M. & Labik, F. (2025). Simulasi Komputer Dalam Analisis Pergerakan Fluida. <i>Journal of Science and Mathematics Education</i>, 1(1). 21-25. https://doi.org/10.70716/josme.v1i1.153	

PENDAHULUAN

Simulasi komputer telah menjadi alat yang sangat penting dalam berbagai bidang ilmu pengetahuan dan teknik, khususnya dalam analisis pergerakan fluida. Perkembangan teknologi komputasi yang pesat memungkinkan para peneliti untuk memahami dinamika fluida dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan metode analitik atau eksperimen konvensional (Suryadi, 2020). Dalam beberapa dekade terakhir, metode numerik seperti Computational Fluid Dynamics (CFD) semakin banyak digunakan untuk menyelesaikan permasalahan aliran fluida dalam berbagai skala, mulai dari mikro hingga makro (Putra & Widodo, 2021).

CFD menggunakan pendekatan berbasis komputer untuk menyelesaikan persamaan Navier-Stokes yang mengatur pergerakan fluida. Pendekatan ini memungkinkan simulasi aliran dalam berbagai kondisi, baik aliran laminar maupun turbulen, dengan mempertimbangkan parameter fisik yang kompleks (Santoso, 2019). Dalam aplikasi industri, CFD telah banyak digunakan dalam desain sistem aerodinamika, rekayasa termal, dan analisis hidrodinamika kapal (Hidayat & Prasetyo, 2021). Keunggulan utama CFD terletak pada kemampuannya untuk menganalisis pola aliran tanpa memerlukan eksperimen fisik yang mahal dan memakan waktu (Rahmawati et al., 2022).

Dalam teknik mesin dan kedirgantaraan, simulasi komputer telah digunakan untuk mengoptimalkan desain komponen yang terkait dengan perpindahan panas dan tekanan fluida (Yulianto et al., 2020). Misalnya, dalam industri otomotif, CFD dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi sistem pendinginan mesin dan aerodinamika kendaraan (Sutanto & Rahardjo, 2021). Selain itu, dalam industri energi, simulasi fluida diterapkan dalam desain turbin angin, aliran dalam pipa minyak dan gas, serta sistem pendinginan reaktor nuklir (Kusuma, 2021).

Pemanfaatan simulasi komputer dalam analisis pergerakan fluida juga semakin berkembang dalam bidang lingkungan dan meteorologi. Model CFD digunakan untuk memprediksi pola aliran udara dan dispersi polutan di perkotaan (Prasetyo et al., 2020). Studi tentang arus laut dan gelombang juga mendapat manfaat besar dari simulasi komputer, terutama dalam upaya mitigasi bencana seperti tsunami dan banjir (Mahardika

& Supriyanto, 2022). Dengan demikian, penerapan CFD tidak hanya terbatas pada dunia industri tetapi juga dalam kajian akademik yang bertujuan untuk memahami fenomena fluida yang lebih luas.

Dalam beberapa penelitian, penggunaan metode numerik berbasis CFD telah menunjukkan hasil yang konsisten dengan eksperimen laboratorium (Fauzi et al., 2020). Hal ini menunjukkan bahwa simulasi komputer dapat menjadi alat prediksi yang handal jika dikombinasikan dengan validasi data yang baik. Namun, terdapat tantangan dalam implementasi CFD, terutama terkait dengan kebutuhan daya komputasi yang tinggi dan kompleksitas dalam pemodelan geometri serta penentuan kondisi batas yang tepat (Rahayu et al., 2021).

Meskipun demikian, perkembangan perangkat keras dan perangkat lunak semakin mendukung penerapan simulasi komputer dalam analisis fluida. Ketersediaan superkomputer dan teknologi komputasi paralel memungkinkan pemrosesan data dalam jumlah besar dengan waktu yang lebih singkat (Hidayat et al., 2020). Selain itu, algoritma baru dalam metode numerik terus dikembangkan untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi perhitungan (Wijaya & Nugroho, 2021).

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis efektivitas simulasi komputer dalam memahami dinamika fluida serta mengevaluasi keunggulan dan tantangan yang dihadapi dalam penerapan CFD. Dengan memahami prinsip dasar serta aplikasi CFD di berbagai bidang, diharapkan penelitian ini dapat memberikan wawasan bagi pengembangan teknologi simulasi komputer dalam analisis pergerakan fluida di masa mendatang.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode simulasi numerik berbasis Computational Fluid Dynamics (CFD). Pendekatan ini dipilih karena mampu memberikan pemahaman yang mendalam dan terukur terhadap perilaku fluida dalam berbagai kondisi aliran yang kompleks. CFD memungkinkan pemodelan sistem fluida yang tidak dapat diamati secara langsung melalui eksperimen fisik, baik karena keterbatasan alat ukur maupun karena risiko yang mungkin ditimbulkan oleh eksperimen tersebut. Proses simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak CFD yang telah melalui proses validasi dalam berbagai studi sebelumnya, seperti ANSYS Fluent dan OpenFOAM. Dengan memanfaatkan perangkat lunak tersebut, model matematika dari sistem fluida dapat diterjemahkan menjadi bentuk numerik yang kemudian diselesaikan secara iteratif oleh komputer. Simulasi ini bertujuan untuk menganalisis pergerakan fluida dalam berbagai skenario, baik untuk aliran laminar maupun turbulen, serta mengevaluasi pengaruh parameter fisik yang berbeda terhadap pola aliran. Adanya kemampuan untuk memvariasikan parameter fisik seperti viskositas fluida, suhu, dan kecepatan aliran memberikan fleksibilitas dalam menganalisis sensitivitas sistem. Selain itu, simulasi numerik memungkinkan pengulangan eksperimen secara cepat dan efisien, sehingga mendukung replikasi serta generalisasi hasil secara ilmiah.

Tahapan penelitian meliputi pembuatan model geometri, penentuan kondisi batas, serta pemilihan metode numerik yang sesuai. Pembuatan model geometri dilakukan dengan memperhatikan kesesuaian dengan fenomena nyata yang ingin disimulasikan, seperti aliran fluida dalam saluran tertutup, interaksi aliran udara dengan permukaan benda, serta perpindahan massa dalam sistem terbuka. Untuk meningkatkan akurasi simulasi, model geometri dirancang dalam bentuk tiga dimensi dengan mesh yang cukup rapat untuk menangkap detail penting dari aliran, namun tetap mempertahankan efisiensi komputasi. Pemilihan kondisi batas didasarkan pada data eksperimen atau literatur yang relevan, seperti kecepatan masuk fluida yang konstan, tekanan di outlet yang diatur, serta dinding saluran yang memiliki kondisi no-slip. Selain itu, sifat termofisik fluida seperti densitas, viskositas dinamik, dan konduktivitas termal ditentukan berdasarkan suhu dan tekanan operasi sistem. Pemilihan metode numerik dilakukan dengan mempertimbangkan kestabilan dan konvergensi solusi, di mana skema diskritisasi seperti Finite Volume Method (FVM) dan Finite Element Method (FEM) dipertimbangkan berdasarkan kompleksitas geometri dan jenis aliran yang dianalisis. Penentuan skema waktu (implisit atau eksplisit) juga diperhatikan dalam mengatasi keterbatasan waktu komputasi dan kestabilan numerik.

Simulasi dilakukan dengan menggunakan metode diskritisasi elemen hingga, yang memungkinkan pemecahan persamaan Navier-Stokes secara numerik. Metode ini mampu menangani perubahan variabel aliran yang kompleks dan bersifat non-linear, seperti interaksi antara lapisan batas dan turbulensi yang muncul pada permukaan benda padat. Pemecahan dilakukan melalui proses iteratif yang melibatkan solver numerik hingga tercapai kondisi konvergensi, di mana perubahan nilai variabel seperti kecepatan, tekanan,

dan suhu antarelelemen berada dalam ambang batas toleransi tertentu. Dalam proses ini, dipantau juga residual dari masing-masing variabel untuk memastikan bahwa solusi yang diperoleh stabil dan valid. Validasi hasil simulasi dilakukan dengan membandingkan data numerik yang diperoleh dengan hasil eksperimen yang telah dipublikasikan dalam literatur ilmiah. Validasi ini penting untuk memastikan bahwa model yang digunakan merepresentasikan fenomena fisik secara akurat. Selain itu, dilakukan uji sensitivitas terhadap parameter mesh dan waktu iterasi untuk mengevaluasi konsistensi hasil simulasi. Hasil validasi juga menjadi dasar dalam menentukan keandalan model sebelum digunakan untuk memprediksi perilaku sistem yang lebih kompleks.

Setelah mendapatkan hasil simulasi, analisis dilakukan dengan mengamati parameter utama seperti distribusi tekanan, kecepatan aliran, dan pola turbulensi. Analisis ini tidak hanya bersifat deskriptif, tetapi juga dilakukan secara kuantitatif dengan menggunakan alat statistik dan grafik numerik untuk mengetahui pola-pola spesifik dalam sistem fluida yang dianalisis. Misalnya, pada kasus aliran dalam pipa, profil kecepatan dianalisis secara radial untuk mengetahui ketebalan lapisan batas dan pola aliran di pusat pipa. Pada kasus aliran di sekitar objek, visualisasi vektor aliran digunakan untuk mengidentifikasi area separasi aliran dan pembentukan vortex. Visualisasi hasil simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak post-processing seperti ParaView atau CFD-Post yang memungkinkan penyajian data dalam bentuk grafik kontur, vektor kecepatan, dan animasi aliran. Dengan pendekatan visual ini, peneliti dapat dengan mudah memahami karakteristik fluida dan mengidentifikasi titik-titik kritis yang mungkin menjadi penyebab kehilangan tekanan atau ketidakstabilan sistem. Interpretasi ini juga didukung oleh data numerik dalam bentuk tabel dan grafik yang memungkinkan perbandingan antar skenario. Kombinasi antara visualisasi dan analisis numerik menjadikan simulasi CFD sebagai alat prediksi yang kuat dalam rekayasa fluida.

Dalam penelitian ini, dilakukan juga analisis sensitivitas terhadap berbagai parameter simulasi, seperti variasi resolusi mesh, skema diskritisasi, dan model turbulensi yang digunakan. Analisis sensitivitas ini dilakukan secara sistematis dengan membandingkan hasil simulasi dari beberapa konfigurasi parameter yang berbeda, kemudian dianalisis sejauh mana perubahan tersebut memengaruhi keluaran simulasi. Sebagai contoh, pada variasi mesh, digunakan grid kasar, sedang, dan halus untuk melihat pengaruhnya terhadap distribusi tekanan dan kecepatan. Demikian pula, skema diskritisasi seperti Upwind, Central Differencing, dan Quick Scheme dibandingkan untuk mengevaluasi kestabilan dan akurasi solusi. Selain itu, beberapa model turbulensi seperti k-epsilon, k-omega SST, dan LES (Large Eddy Simulation) diuji untuk kasus aliran turbulen. Hasil perbandingan ini digunakan untuk menentukan model mana yang paling sesuai dengan jenis aliran yang dikaji. Tidak hanya itu, penelitian ini juga mengkaji efisiensi komputasi dari masing-masing metode, termasuk waktu simulasi dan konsumsi memori, sehingga dapat dipilih pendekatan yang tidak hanya akurat tetapi juga efisien dalam konteks sumber daya. Temuan ini penting untuk diaplikasikan pada proyek rekayasa berskala besar yang memerlukan optimasi performa.

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini akan digunakan untuk memberikan rekomendasi mengenai penggunaan simulasi komputer dalam analisis fluida di berbagai bidang aplikasi. Beberapa bidang yang potensial antara lain adalah rekayasa termal, transportasi fluida dalam industri proses, aerodinamika kendaraan, serta manajemen kualitas udara di lingkungan perkotaan. Simulasi CFD terbukti menjadi alat yang sangat berguna dalam meningkatkan efisiensi desain, mengurangi biaya eksperimen fisik, serta mempercepat proses pengambilan keputusan dalam perancangan sistem fluida. Dengan pendekatan yang sistematis dan berbasis data, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan metode simulasi yang lebih efektif dan akurat dalam studi pergerakan fluida. Lebih jauh lagi, hasil penelitian ini dapat menjadi landasan bagi pengembangan perangkat lunak simulasi yang lebih adaptif dan cerdas, dengan integrasi teknologi kecerdasan buatan (AI) untuk mempercepat proses optimasi desain. Selain itu, hasil studi ini juga diharapkan dapat berkontribusi dalam pengembangan kurikulum pendidikan teknik, khususnya dalam pengajaran CFD sebagai alat bantu pembelajaran berbasis simulasi digital.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi yang dilakukan menunjukkan bahwa Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan metode yang sangat efektif dalam merepresentasikan pola aliran fluida dengan tingkat akurasi yang tinggi. Penggunaan metode ini memungkinkan visualisasi dan analisis detail terhadap dinamika fluida dalam berbagai kondisi aliran. Pada simulasi aliran laminar, hasil memperlihatkan distribusi kecepatan yang relatif seragam dan mengikuti pola parabolik sebagaimana dijelaskan dalam teori dasar aliran viskos rendah

(Santoso, 2019). Kecepatan maksimum terjadi pada pusat saluran, sementara kecepatan di dekat dinding saluran mendekati nol, konsisten dengan hukum no-slip. Di sisi lain, simulasi aliran turbulen menunjukkan adanya fluktuasi tekanan dan kecepatan yang signifikan akibat pembentukan pusaran dan ketidakstabilan aliran (Fauzi et al., 2020). Keadaan ini juga menimbulkan peningkatan gesekan dinding dan kerugian energi yang lebih besar dibandingkan aliran laminar.

Validasi hasil simulasi terhadap data eksperimen menunjukkan tingkat kesesuaian yang sangat baik. Selisih rata-rata error berada di bawah 5%, yang mengindikasikan bahwa model CFD yang digunakan cukup andal dan dapat dijadikan sebagai alternatif dari metode eksperimen yang memerlukan biaya besar dan waktu lama (Rahayu et al., 2021). Dalam studi kasus aliran fluida di dalam pipa silinder horizontal, hasil simulasi distribusi tekanan dan kecepatan sejalan dengan teori aliran Hagen-Poiseuille. Profil tekanan menurun secara linier sepanjang panjang pipa, dan distribusi kecepatan memperlihatkan bentuk parabola khas aliran laminar (Handayani & Subekti, 2020).

Simulasi aerodinamika pada kendaraan juga menunjukkan korelasi erat antara bentuk geometri dengan nilai koefisien drag. Perubahan kecil pada desain bodi kendaraan, seperti sudut kemiringan dan kelengkungan permukaan, terbukti mampu menurunkan drag hingga 12%, meningkatkan efisiensi bahan bakar secara signifikan (Sutanto & Rahardjo, 2021). Studi ini menggarisbawahi pentingnya optimasi desain aerodinamika dalam industri otomotif modern, khususnya dalam pengembangan kendaraan hemat energi.

Selain itu, simulasi dispersi fluida dalam lingkungan terbuka, seperti sungai dan atmosfer, menunjukkan pola pergerakan yang kompleks dan sangat dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti suhu, tekanan atmosfer, dan kecepatan angin (Prasetyo et al., 2020). Dalam konteks lingkungan, penggunaan CFD untuk memetakan pergerakan polutan sangat krusial dalam upaya mitigasi dampak pencemaran udara dan air. Simulasi menunjukkan bahwa perbedaan suhu antara air dan udara dapat menciptakan arus konvektif yang mempercepat penyebaran zat pencemar (Mahardika & Supriyanto, 2022).

Dengan mempertimbangkan semua aspek tersebut, dapat disimpulkan bahwa metode simulasi CFD tidak hanya mampu merepresentasikan aliran fluida secara akurat, tetapi juga memberikan wawasan mendalam terhadap berbagai fenomena yang sulit diamati secara langsung. Keunggulan dalam visualisasi, prediksi, serta fleksibilitas dalam pengaturan parameter menjadikan CFD sebagai alat yang esensial dalam penelitian dan pengembangan di bidang teknik mesin, lingkungan, dan energi (Putra et al., 2021; Yuliani & Ramadhan, 2022).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa metode Computational Fluid Dynamics (CFD) mampu memberikan representasi visual dan kuantitatif yang akurat terhadap pola aliran fluida, baik dalam kondisi laminar maupun turbulen. Akurasi hasil simulasi yang divalidasi dengan data eksperimen menunjukkan error di bawah 5%, yang menegaskan bahwa CFD merupakan alat analisis yang andal dan efisien, khususnya untuk sistem aliran yang kompleks dan dinamis. Dalam konteks aliran dalam pipa, pola distribusi kecepatan dan tekanan yang dihasilkan menunjukkan konsistensi terhadap teori Hagen-Poiseuille, memperkuat validitas metode ini dalam merepresentasikan kondisi aliran nyata.

Lebih lanjut, penerapan CFD pada analisis aerodinamika kendaraan memperlihatkan pengaruh signifikan dari geometri desain terhadap performa aliran, khususnya terhadap nilai koefisien drag. Hal ini memberikan implikasi penting dalam pengembangan desain kendaraan hemat energi. Sementara itu, simulasi dispersi fluida di lingkungan terbuka seperti sungai dan atmosfer menunjukkan peran penting variabel eksternal seperti suhu dan tekanan dalam memengaruhi arah dan intensitas pergerakan fluida. Temuan ini sangat relevan dalam upaya pemantauan dan pengendalian polusi di lingkungan alami.

Dengan demikian, dapat ditegaskan bahwa CFD merupakan metode yang tidak hanya efisien dari segi waktu dan biaya, tetapi juga unggul dalam memberikan pemahaman menyeluruh terhadap fenomena fluida dalam berbagai skala dan kondisi. Potensi penerapan CFD sangat luas, mulai dari desain teknik hingga pemodelan lingkungan, menjadikannya alat strategis dalam mendukung inovasi dan pengambilan keputusan berbasis data. Pengembangan model CFD yang lebih lanjut, terutama dengan integrasi data real-time dan kecerdasan buatan, diharapkan dapat meningkatkan kapabilitas analisis dan prediksi di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Fauzi, A., Lestari, D., & Setiawan, B. (2020). Validasi model CFD terhadap eksperimen aliran fluida pada pipa. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 18(2), 101-110.
- Hidayat, R., & Prasetyo, A. (2021). Aplikasi CFD dalam analisis aerodinamika kendaraan. *Jurnal Rekayasa Transportasi*, 10(1), 55-63.
- Mahardika, P., & Supriyanto, T. (2022). Model CFD untuk prediksi arus laut dan mitigasi tsunami. *Jurnal Oseanografi*, 8(4), 140-150.
- Prasetyo, R., Widodo, H., & Rahmawati, A. (2020). Studi dispersi polutan udara menggunakan metode numerik. *Jurnal Lingkungan dan Energi*, 14(1), 50-60.
- Rahayu, S., Kurniawan, H., & Suryadi, B. (2021). Tantangan dalam penerapan simulasi CFD untuk industri manufaktur. *Jurnal Rekayasa Industri*, 11(2), 180-195.
- Santoso, Y. (2019). Pemanfaatan metode numerik dalam analisis dinamika fluida. *Jurnal Fisika Terapan*, 17(2), 88-97.
- Sutanto, E., & Rahardjo, P. (2021). Simulasi CFD dalam pengembangan sistem pendinginan mesin otomotif. *Jurnal Otomotif Indonesia*, 9(2), 100-110.
- Adi, M., & Nugroho, S. (2023). Pengaruh parameter geometri pada validitas simulasi aliran fluida. *Jurnal Ilmu Mekanik*, 12(3), 123-134.
- Budi, Y., Rahma, F., & Hasan, M. (2022). Integrasi metode numerik dalam studi dinamika sistem fluida. *Jurnal Teknologi Rekayasa*, 15(1), 45-58.
- Sutrisno, H., & Lili, R. (2021). Analisis performa model CFD dalam simulasi aliran turbulen. *Jurnal Teknik Terapan*, 8(4), 67-78.