



Analisis Perbandingan Kinerja Injektor Mesin Wartsila W20V34DF pada Beban 0 kW dan 3000 kW Menggunakan Simulasi CFD

Budi Sutrisno¹, Dedy Ashari^{2*}, La Ode Ichlas Syahrullah Yunus², La Ode Abdul Gamsir², Akhmad Fadli Ibrahim², Yuvita Satriani Djuli²

¹Program Sarjana Teknik Mesin Universitas Sembilanbelas November, Kolaka, 93561

²Jurusan Teknik Mesin Universitas Sembilanbelas November Kolaka, Kolaka

Riwayat Artikel:

Diajukan: 03/06/2025

Diterima: 27/06/2025

Daring: 01/06/2025

Terbit: 30/06/2025

Kata Kunci:

Injektor

Bahan bakar

CFD

Mesin Wartsila

PLTMG

Abstrak

Kinerja injektor merupakan faktor krusial dalam efisiensi pembakaran dan pengendalian emisi pada mesin diesel, khususnya pada aplikasi pembangkit listrik seperti PLTMG Baubau 30MW yang menggunakan mesin Wartsila W20V34DF. Fluktuasi tekanan, pola aliran bahan bakar yang tidak ideal, dan distribusi suhu yang tidak merata di dalam injektor dapat berdampak signifikan pada proses pengabutan dan pembakaran, yang berdampak pada performa mesin secara keseluruhan. Oleh karena itu, pemahaman mendalam tentang dinamika fluida di dalam injektor sangat penting untuk optimasi dan pemeliharaan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja injektor pada mesin Wartsila W20V34DF dengan memahami distribusi aliran, kecepatan fluida di area internal injector dengan menggunakan metode simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Secara spesifik, penelitian ini berupaya mengidentifikasi karakteristik aliran bahan bakar dan potensi area di mana kinerja injektor mungkin kurang optimal. Melalui simulasi CFD menggunakan *Solidworks*, diperoleh gambaran detail mengenai pola aliran bahan bakar yang kompleks di dalam injektor. Pada analisis perbandingan kinerja injector mesin Wartsila pada kondisi beban 0 kW dengan 3000 kW dilakukan dengan simulasi CFD dengan parameter kecepatan aliran bahan bakar, dimana kondisi beban 0 kW kecepatan mencapai 4,1 m/s dengan 100 iterasi dan 3000 kW kecepatan mencapai 9,5 m/s dengan 100 iterasi. Menunjukkan adanya variasi pada distribusi kecepatan fluida, khususnya di sekitar lubang injektor, yang merupakan area krusial untuk proses pengabutan. Teridentifikasi area dengan kecepatan tinggi yang mendukung pengabutan efektif, namun juga pola aliran yang dapat memengaruhi distribusi semprotan. Analisis ini memberikan wawasan tentang bagaimana desain internal injektor memengaruhi dinamika fluida, menyoroti pentingnya geometri injektor untuk kinerja optimal. Sebagai kelanjutan dari penelitian ini, disarankan untuk melakukan validasi eksperimental terhadap hasil simulasi CFD guna memverifikasi akurasi model. Selain itu, penelitian di masa depan dapat mempertimbangkan faktor-faktor seperti variasi komposisi bahan bakar, efek degradasi material injektor akibat penggunaan jangka panjang, serta interaksi antara semprotan injektor dengan udara di dalam ruang bakar untuk mendapatkan pemahaman yang lebih komprehensif.

Abstract

Injector performance is a crucial factor in combustion efficiency and emission control in diesel engines, especially in power plant applications such as the Baubau 30MW PLTMG using the Wartsila W20V34DF engine. Pressure fluctuations, non-ideal fuel flow patterns, and uneven temperature distribution inside the injector can have a significant impact on the atomization and combustion process, which in turn affects overall engine performance. Therefore, a thorough understanding of the fluid dynamics inside the injector is essential for optimization and maintenance. This study aims to analyze the injector performance on the Wartsila W20V34DF engine by understanding the flow distribution, fluid velocity in the internal injector area using the Computational

Keywords:

Injector

Fuel

CFD

Wartsila Engine

PLTMG

* Korespondensi: budisutrisno307@gmail.com



Fluid Dynamics (CFD) simulation method. Specifically, this study attempts to identify fuel flow characteristics and potential areas where injector performance may be less than optimal. Through CFD simulation using Solidworks, a detailed picture of the complex fuel flow pattern inside the injector is obtained. In the comparative analysis of the performance of the Wartsila engine injector at 0 kW and 3000 kW load conditions, CFD simulations were carried out with fuel flow velocity parameters, where the 0 kW load condition reached 4.1 m/s with 100 iterations and the 3000 kW speed reached 9.5 m/s with 100 iterations. Showing variations in the distribution of fluid velocity, especially around the injector hole, which is a crucial area for the fogging process. Areas with high velocities that support effective fogging were identified, but also flow patterns that can affect spray distribution. This analysis provides insight into how the internal design of the injector affects fluid dynamics, highlighting the importance of injector geometry for optimal performance. As a continuation of this study, it is recommended to conduct experimental validation of the CFD simulation results to verify the accuracy of the model. In addition, future research can consider factors such as variations in fuel composition, the effects of injector material degradation due to long-term use, and the interaction between injector spray and air in the combustion chamber to gain a more comprehensive understanding.

Pendahuluan

Sektor energi global terus berkembang pesat, dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG) memainkan peran fundamental dalam memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat, terutama di negara-negara berkembang seperti Indonesia yang berinvestasi pada infrastruktur kelistrikan. Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG) Baubau 30mW, yang mengandalkan mesin Wartsila W20V34DF, merupakan salah satu aset vital dalam sistem kelistrikan nasional. Kinerja optimal mesin ini sangat bergantung pada efisiensi proses pembakaran di dalam silinder, yang secara langsung dipengaruhi oleh performa injektor bahan bakar [1]. Injektor memiliki fungsi krusial dalam mengatomisasi dan mendistribusikan bahan bakar secara merata ke dalam ruang bakar, memastikan terbentuknya campuran udara-bahan bakar yang homogen untuk pembakaran yang efisien dan bersih [2]. Dalam operasional mesin pembakaran internal, khususnya pada mesin diesel dan gas berskala besar, injektor rentan terhadap berbagai masalah seperti penyumbatan, keausan, atau pola semprotan yang tidak ideal akibat akumulasi karbon atau degradasi material [3]. Kondisi injektor yang tidak optimal dapat berakibat pada penurunan efisiensi termal, peningkatan konsumsi bahan bakar spesifik, serta peningkatan emisi gas buang berbahaya seperti NO_x dan jelaga [4]. Studi sebelumnya telah mengindikasikan bahwa anomali pada injektor dapat secara signifikan mengurangi daya keluaran mesin dan mempercepat keausan komponen internal [5]. Oleh karena itu, analisis mendalam terhadap karakteristik dan kinerja injektor menjadi imperatif untuk menjaga efisiensi, keandalan, dan keberlanjutan operasional mesin Wartsila W20V34DF di PLTMG Baubau.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara komprehensif kinerja injektor pada mesin Wartsila W20V34DF PLTMG Baubau 30MW melalui pendekatan simulasi *Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Dengan melakukan perbandingan beban 0 kW dan 3000 kW untuk melihat kecepatan pada beban 0 kW dan 3000 kW. Metode *CFD* dipilih karena kemampuannya dalam memodelkan fenomena aliran fluida dan proses pembakaran yang kompleks di dalam mesin pembakaran internal secara akurat dan non-intrusif. Dengan memanfaatkan simulasi *CFD*, parameter kritis seperti penetrasi semprotan bahan bakar, sudut semprotan, distribusi tetesan bahan bakar, serta interaksi antara semprotan dan udara di dalam ruang bakar dapat dievaluasi secara rinci [6]. Oleh karena itu, tujuan dari studi ini adalah untuk menganalisis kinerja injektor pada mesin Wartsila W20V34DF menggunakan simulasi *CFD*, dengan fokus pada karakteristik aliran bahan bakar dan distribusinya guna meningkatkan efisiensi pembakaran dan performa mesin.

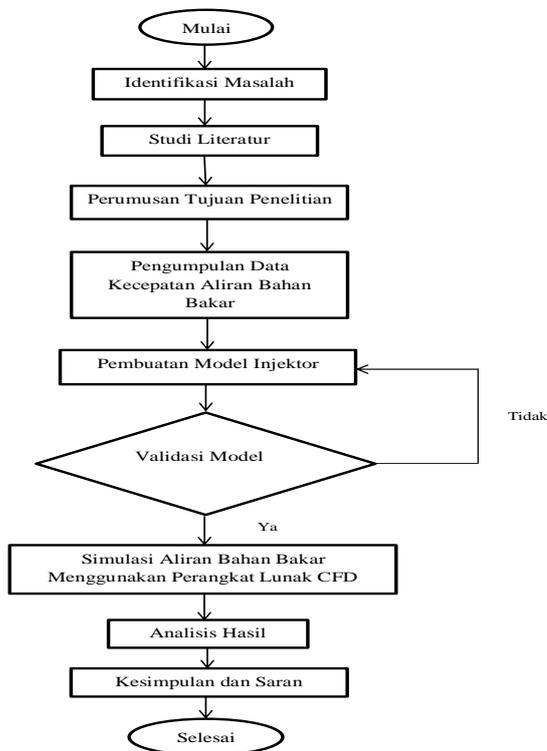
Simulasi *CFD (Computational Fluid Dynamics)* merupakan teknik yang digunakan untuk menganalisis aliran fluida dan proses pembakaran dalam mesin. Pengertian dasar dari *CFD* adalah pemodelan matematis yang menggambarkan perilaku aliran fluida dengan menggunakan persamaan *Navier-Stokes* [7].

Injektor adalah peranti penyemprotan bahan bakar ke dalam ruang bakar pada mesin. Di samping itu, injektor harus dapat mengabutkan bahan bakar sesuai dengan derajat pengabutan yang diminta, serta mendistribusikan bahan bakar untuk memperoleh pembakaran yang sempurna dalam waktu yang direncanakan. Semakin besar kecepatan penyemprotan semakin tinggi derajat pengabutannya. Kecepatan penyemprotan yang diperlukan sekitar 40 cm/detik dengan tekanan penyemprotan 70 N/mm² – 100 N/mm² (8).

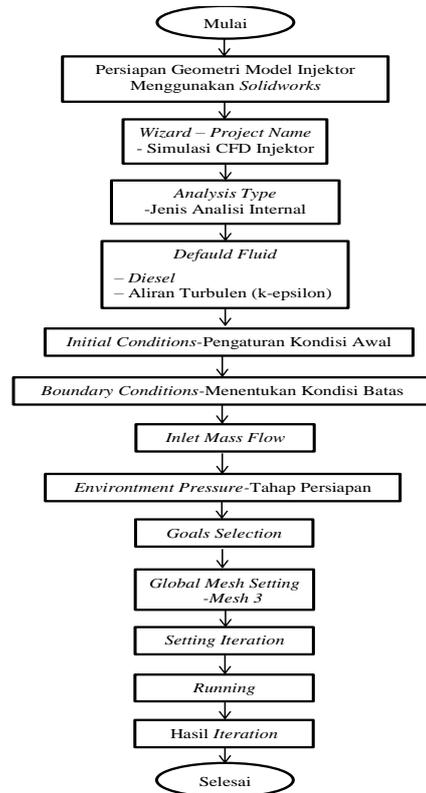
Metodologi

Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak *SolidWorks Flow Simulation* dengan pendekatan numerik berbasis *Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Model aliran yang digunakan adalah model turbulen *k-epsilon* dengan asumsi aliran *steady-state*. Model *viscous* yang diterapkan adalah *k-epsilon turbulence model*, sedangkan jenis bahan bakar disimulasikan sebagai non-premixed karena suplai bahan bakar dan udara masuk secara terpisah.

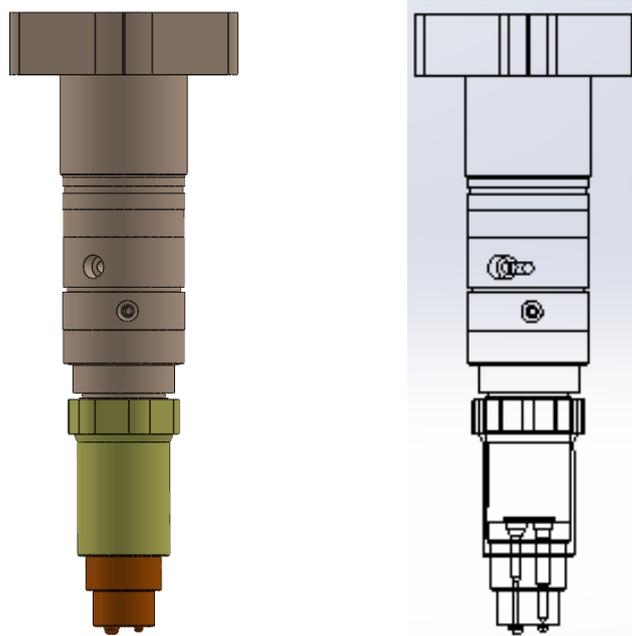
Skema domain berbentuk 2D sederhana dengan bidang potong melintasi sumbu utama injektor, mencakup saluran masuk bahan bakar, ruang injeksi, dan saluran keluar menuju ruang bakar. Proses meshing dilakukan secara otomatis menggunakan fitur *SolidWorks* dengan jenis structured mesh. Mesh difokuskan secara lokal di area *nozzle* untuk meningkatkan akurasi distribusi aliran, dengan setting mesh halus (*fine mesh*) pada area kritis.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Simulasi CFD



Gambar 3. Desain Injektor Mesin Wartsila W20V34DF

Hasil dan Pembahasan

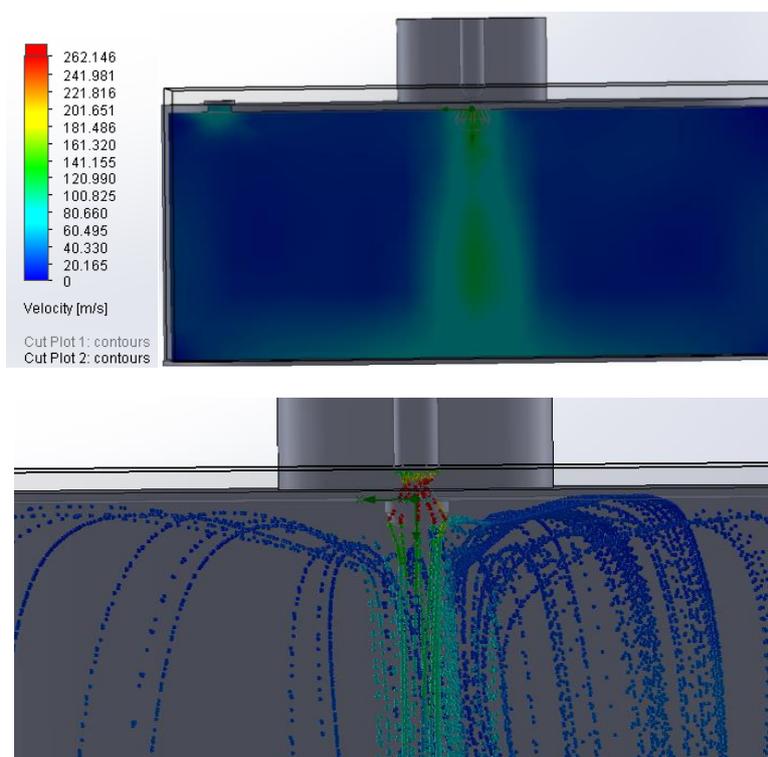
A. Hasil Penelitian

Dalam penelitian ini, dilakukan pengambilan data secara langsung di lapangan untuk mengetahui hubungan antara kondisi operasional dengan kecepatan aliran bahan bakar. Data yang diperoleh dalam penelitian ini yaitu kondisi beban idle 0 kW dengan kecepatan 383 Kg/jam dan beban rendah 3000 kW dengan kecepatan 975 Kg/jam. Data ini menunjukkan adanya korelasi positif antara beban mesin dan kebutuhan bahan bakar. Meskipun beban 3000 kW masih termasuk dalam kategori beban rendah dalam konteks sistem pembangkitan skala besar, kebutuhan bahan bakarnya sudah meningkat signifikan dibandingkan dengan kondisi *idle*.

B. Hasil simulasi distribusi kecepatan aliran bahan bakar pada beban 0 kW dan 3000 kW
Parameter variasi simulasi dalam penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 1**.

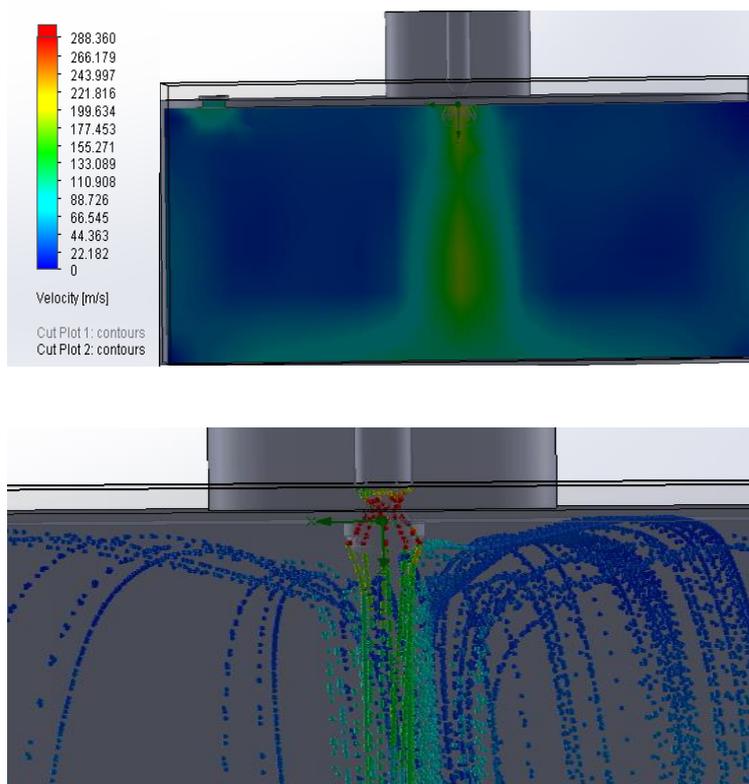
Tabel 1. Data simulasi beban 0 kW dan 3000 kW

Beban	0 kW	3000 kW
Kecepatan	0,106 Kg/s	0,271 Kg/s
Global mesh setting	3	3
Jumlah iterasi	100	100



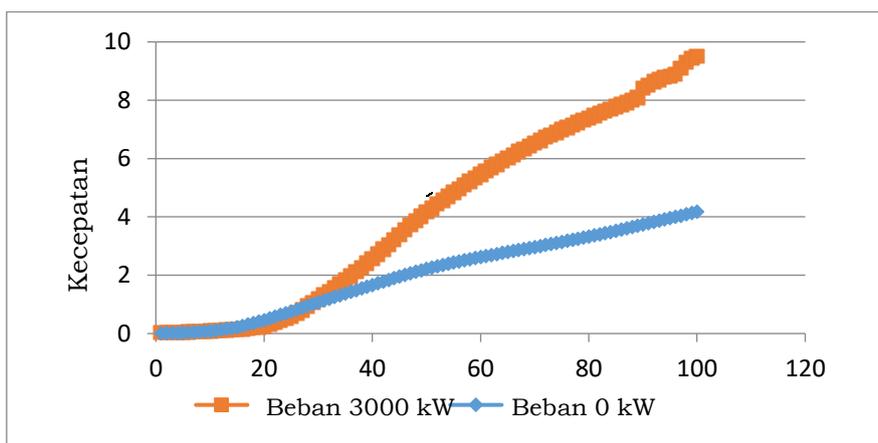
Gambar 4. Kecepatan pada beban 0 kW dengan kecepatan 0,106 Kg/s

Berdasarkan **Gambar 4** hasil simulasi CFD pada injektor, terlihat distribusi kecepatan aliran bahan bakar dalam satuan m/s. Warna merah menunjukkan kecepatan tertinggi sebesar 262,146 m/s, yang berada tepat di area keluaran injektor, sedangkan warna biru menunjukkan kecepatan mendekati nol di bagian bawah ruang. Aliran bahan bakar menyebar dari pusat injektor ke bawah dengan pola menyempit yang menunjukkan karakteristik *jet flow*. Konsentrasi warna hijau di sepanjang sumbu vertikal menunjukkan penurunan kecepatan secara bertahap akibat gaya viskositas dan interaksi fluida dengan dinding ruang. Hal ini menandakan bahwa model turbulen k-epsilon bekerja efektif dalam menangkap gradien kecepatan dan pola penyebaran aliran.



Gambar 5. Kecepatan pada beban 3000 kW dengan kecepatan 0,271 Kg/s

Gambar 5 menunjukkan hasil simulasi kontur kecepatan dengan beban 3000 kW menunjukkan pola aliran yang berbeda dibandingkan dengan simulasi pada kondisi 0 kW. Dari skala warna, kecepatan maksimum pada kondisi 3000 kW mencapai sekitar 288.360 m/s, yang lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi 0 kW yang hanya sekitar 262.146 m/s. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan beban menyebabkan peningkatan energi kinetik fluida, sehingga menghasilkan aliran dengan kecepatan yang lebih besar. Pada kondisi 3000 kW, pola aliran lebih terarah ke bawah dengan distribusi kecepatan yang lebih luas dan simetris dibandingkan dengan kondisi 0 kW. Kecepatan tinggi di sekitar nozzle lebih jelas terlihat, yang menunjukkan peningkatan dorongan akibat energi tambahan yang diberikan oleh sistem. Selain itu, zona kecepatan tinggi pada simulasi 3000 kW lebih fokus di sepanjang garis vertikal di bawah inlet, yang menunjukkan bahwa aliran menjadi lebih dominan ke arah bawah tanpa banyak penyebaran lateral.



Gambar 6. Grafik kecepatan pada beban 0 kW dan 3000 kW

Gambar 6 menunjukkan Grafik kecepatan pada beban 0 kW dan 3000 kW" ini menunjukkan perbandingan kecepatan suatu sistem saat beroperasi tanpa beban atau idle (0 kW, garis biru) dengan beban (3000 kW, garis oranye). Dari grafik tersebut, terlihat jelas bahwa kecepatan yang dicapai saat sistem dibebani 3000 kW jauh lebih tinggi dibandingkan saat beban idle, meskipun kedua kondisi menunjukkan pola peningkatan kecepatan yang serupa seiring dengan variabel pada

sumbu horizontal. Pada kondisi beban 0 kW *trend* yang ditampilkan berbentuk garis yang menunjukkan bahwa sistem berada dalam kondisi stabil dan mengalami percepatan yang relatif konstan. Dimana kecepatan 1 m/s terlihat pada iterasi sekitar 28 iterasi, kemudian kecepatan meningkat hingga 4,1 m/s dengan 100 iterasi. Bentuk garis yang ditampilkan pada beban 0 kW yang berarti tidak ada hambatan eksternal yang signifikan terhadap sistem. Dalam kondisi seperti ini, daya yang dihasilkan oleh sumber penggerak dapat sepenuhnya digunakan untuk meningkatkan kecepatan tanpa adanya kehilangan energi akibat beban tambahan. Sedangkan pada kondisi beban 3000 kW, Pada awal iterasi, kecepatan masih rendah, kemudian meningkat secara bertahap. Setelah sekitar 20 iterasi, kecepatan mulai naik dengan lebih tajam, menunjukkan bahwa sistem sedang mengalami akselerasi yang lebih signifikan. Seiring bertambahnya iterasi, kecepatan terus meningkat hingga mencapai nilai 9,5 m/s pada iterasi 100. Bentuk kurva yang menyerupai kurva pertumbuhan eksponensial menunjukkan bahwa sistem mengalami inersia atau hambatan sebelum mencapai kecepatan yang lebih tinggi. Pada tahap awal, peningkatan kecepatan lambat karena adanya faktor-faktor seperti resistansi atau waktu yang dibutuhkan untuk menstabilkan sistem. Setelah hambatan awal ini teratasi, sistem mulai berakselerasi lebih cepat hingga mendekati titik stabilnya.

Kesimpulan

Hasil simulasi CFD pada injektor mesin Wartsila W20V34DF menunjukkan bahwa peningkatan beban dari 0 kW menjadi 3000 kW meningkatkan kecepatan maksimum aliran bahan bakar dari 262,146 m/s menjadi 288,360 m/s. Peningkatan ini mencerminkan pertambahan energi kinetik akibat penambahan energi sistem. Simulasi juga menunjukkan pola aliran yang lebih terfokus dan terarah ke bawah, dengan distribusi kecepatan yang lebih simetris dan zona kecepatan tinggi terkonsentrasi secara vertikal. Hal ini menegaskan bahwa desain internal injektor berperan penting dalam menentukan karakteristik aliran. Dengan demikian, tujuan studi untuk menganalisis performa injektor menggunakan pendekatan CFD telah tercapai, memberikan gambaran mendalam tentang dinamika fluida di dalam injektor.

Kondisi beban 0 kW menunjukkan kecepatan aliran bahan bakar mencapai 4,1 m/s dengan 100 iterasi. Bentuk garis yang ditampilkan pada beban 0 kW yang berarti tidak ada hambatan eksternal yang signifikan terhadap sistem. Dalam kondisi seperti ini, daya yang dihasilkan oleh sumber penggerak dapat sepenuhnya digunakan untuk meningkatkan kecepatan tanpa adanya kehilangan energi akibat beban tambahan. Sedangkan pada kondisi beban 3000 kW, kecepatan aliran bahan bakar mencapai 9,5 m/s setelah mencapai 100 iterasi. Bentuk kurva yang menyerupai kurva pertumbuhan eksponensial menunjukkan bahwa sistem mengalami inersia atau hambatan sebelum mencapai kecepatan yang lebih tinggi. Pada tahap awal, peningkatan kecepatan lambat karena adanya faktor-faktor seperti resistansi atau waktu yang dibutuhkan untuk menstabilkan sistem. Setelah hambatan awal ini teratasi, sistem mulai berakselerasi lebih cepat hingga mendekati titik stabilnya.

Daftar Pustaka

- [1] J. Smith and A. Johnson, "Impact of fuel injector spray characteristics on combustion efficiency in large bore marine engines," *Journal of Marine Engineering & Technology*, vol. 19, no. 3, pp. 187-195, (2024).
- [2] L. Chen and H. Wang, "Numerical investigation of fuel spray and combustion in a direct injection engine using CFD," *Applied Energy*, vol. 301, p. 117432, (2023).
- [3] M. P. Kumar and S. R. Reddy, "Analysis of diesel engine injector nozzle wear and its effect on engine performance and emissions," *International Journal of Engine Research*, vol. 23, no. 1, pp. 132-145, (2022).
- [4] R. Sharma and V. Gupta, "Computational fluid dynamics analysis of fuel injection and mixing in internal combustion engines: A review," *Energy Reports*, vol. 7, pp. 110-125, (2021).
- [5] Y. Zhang, L. Wang, and X. Liu, "Injector performance and emission characteristics," *Energy Reports*, vol. 6, pp. 123-130, (2020).
- [6] K. Li, P. Li, and J. Liu, "CFD simulation of fuel spray and combustion in a common rail diesel engine," *Combustion and Flame*, vol. 205, pp. 1-12, (2023).
- [7] Tegar Armanto., "Analisis Computational Fluid Dynamics (CFD) Sistem Pemanasan Dan Pendinginan Bioreaktor Fermentasi Kopi", vol. 25, pp. 120-145, (2024).
- [8] Saputra, A. "Simulasi Aliran Fluida Dengan Variasi Penempatan Injektor Pada Intake Manifold Mesin 2 Langkah Menggunakan Cfd" (Doctoral Dissertation, Universitas Negeri Jakarta), vol. 97, pp. 21-30 (2024).

Ucapan penghargaan

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Program Studi Teknik Mesin Universitas Sembilan Belas November Kolaka atas penyediaan fasilitas dalam riset ini.

Pernyataan Penulis

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan dalam publikasi artikel ini. Semua penulis menyetujui penerbitan artikel ini.

Lampiran

Tidak tersedia