

INTISARI

Penerapan kebijakan mandatori biodiesel B40 pada Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) merupakan bagian dari strategi pemerintah dalam meningkatkan pemanfaatan energi baru terbarukan sekaligus mendukung target *Net Zero Emission* tahun 2060. Namun, perbedaan karakteristik fisik dan kimia biodiesel terhadap solar berpotensi memengaruhi karakteristik pembakaran, performa, dan emisi mesin diesel yang pada awalnya dirancang menggunakan *High Speed Diesel* (HSD). Pengujian secara langsung pada mesin pembangkit memiliki risiko operasional, biaya tinggi, serta keterbatasan dalam mengamati fenomena pembakaran di dalam silinder. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penggunaan biodiesel terhadap karakteristik pembakaran, unjuk kerja, dan emisi mesin diesel SWD 9TM 410 menggunakan pendekatan simulasi numerik berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD).

Penelitian dilakukan menggunakan ANSYS Forte untuk mensimulasikan proses pembakaran transien pada mesin diesel empat langkah SWD 9TM 410. Pemodelan dilakukan pada satu silinder representatif dengan domain sektoral 36° menggunakan geometri aktual mesin. Variasi bahan bakar yang dianalisis meliputi B0, B40, B50, dan B100 menggunakan *surrogate fuel* multikomponen dengan kondisi batas sesuai parameter operasi aktual. Simulasi menerapkan persamaan konservasi massa, momentum, dan energi yang dipadukan dengan model perpindahan panas, turbulensi RANS RNG $k-\epsilon$, atomisasi semprotan, evaporasi, reaksi kimia, dan pembentukan emisi. Parameter yang dianalisis meliputi *in-cylinder pressure*, *Peak Pressure* (P_{max}), *Heat Release Rate* (HRR), *ignition delay*, distribusi temperatur, *Indicated Horse Power* (IHP), *Brake Thermal Efficiency* (BTE), *Specific Fuel Consumption* (SFC), serta emisi NO_x , CO , dan CO_2 pada beban 50%, 75%, dan 100%. Model divalidasi menggunakan kurva tekanan silinder ($P-\theta$), posisi *Peak Pressure*, *Start of Combustion* (SOC), dan data emisi hasil pengujian.

Hasil validasi menunjukkan model memiliki akurasi yang baik dengan error tekanan maksimum sebesar 1,09%. Variasi campuran biodiesel terbukti memengaruhi karakteristik pembakaran, performa, dan emisi mesin. Nilai kalor biodiesel yang lebih rendah menyebabkan daya B100 menurun 6,4% dibandingkan B0 serta memengaruhi tekanan silinder maksimum, laju pelepasan panas, distribusi temperatur, dan konsentrasi emisi pada setiap tingkat pembebanan. Peningkatan fraksi biodiesel menghasilkan temperatur pembakaran dan emisi NO_x yang lebih rendah, dengan penurunan NO_x pada B100 mencapai 36% dibandingkan B0. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi biodiesel berperan penting dalam menentukan karakteristik pembakaran, performa, dan emisi mesin diesel SWD 9TM 410.

Kata Kunci : Diesel Engine, SWD 9TM 410, Performa, Biodiesel B40, Emisi, CFD, ANSYS Forte.

ABSTRACT

The implementation of the mandatory B40 biodiesel policy is part of Indonesia's strategy to increase renewable energy utilization while supporting the Net Zero Emission target by 2060. However, the different physical and chemical properties of biodiesel may alter combustion characteristics, engine performance, and exhaust emissions in diesel engines originally designed for High-Speed Diesel (HSD) fuel. Since direct engine testing is costly, operationally risky, and unable to fully capture in-cylinder combustion phenomena, this study investigates the effects of biodiesel on the combustion characteristics, performance, and emissions of an SWD 9TM 410 diesel engine using a Computational Fluid Dynamics (CFD) approach.

Transient combustion simulations were performed in ANSYS Forte using a 36° single-cylinder sector model with actual engine geometry. Four fuel blends (B0, B40, B50, and B100) were modeled using multicomponent surrogate fuels under actual operating conditions. The simulation solved the governing equations of mass, momentum, and energy conservation coupled with heat transfer, RANS RNG $k-\epsilon$ turbulence, spray atomization, evaporation, chemical kinetics, and emission formation. The model was validated against experimental in-cylinder pressure traces, peak pressure location, start of combustion (SOC), and exhaust emission measurements. Combustion characteristics, engine performance, and emissions were evaluated under 50%, 75%, and 100% engine loads.

The validated model achieved a maximum pressure error of 1.09%. The results show that biodiesel significantly affects combustion characteristics, engine performance, and exhaust emissions. Compared with B0, the lower heating value of B100 reduced engine power by 6.4%, while increasing the biodiesel fraction lowered combustion temperature and NO_x emissions by up to 36%. Biodiesel blending also altered peak cylinder pressure, heat release rate, temperature distribution, and exhaust emissions across all operating conditions. These findings demonstrate that biodiesel composition plays a key role in determining the combustion behavior, performance, and emission characteristics of the SWD 9TM 410 diesel engine.

Keywords: Diesel Engine, SWD 9TM 410, Performance, Biodiesel B40, Emissions, CFD, ANSYS Forte.