

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Validasi

Validasi dilakukan untuk memastikan hasil simulasi yang diperoleh sesuai dengan data referensi, sehingga model yang digunakan dapat terpercaya dan akurat. Pada penelitian ini, validasi membandingkan hasil simulasi dari penelitian dengan data yang berasal dari katalog. Berikut ini hasil validasi yang dilakukan.

Tabel 4.1 Data Validasi

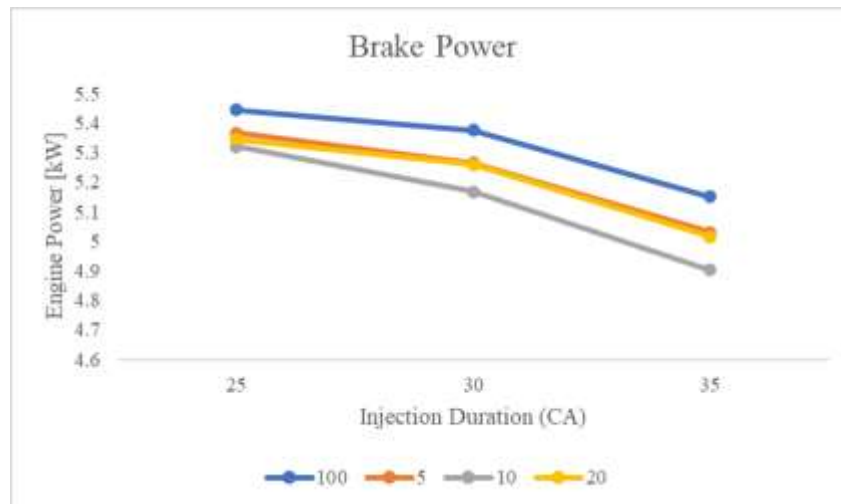
	<i>Catalogue</i>	<i>Simulation</i>	<i>Error</i>
<i>Engine Power (kW)</i>	5.15	5.155	0.1%
<i>Compression</i>	21 ± 1	21	
<i>BMEP (bar)</i>	5.76	5.91	2.60%
<i>SFC (kg/kWh)</i>	Max 0.278	0.267	3.96%

Validasi model simulasi yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan tingkat kesesuaian yang baik antara hasil simulasi dan data katalog, yang merupakan langkah penting dalam memastikan bahwa model mampu merepresentasikan kondisi fisik mesin diesel secara andal sebelum digunakan untuk analisis lebih lanjut; misalnya, daya mesin hasil simulasi (5,155 kW) hampir sama dengan data katalog (5,15 kW) dengan error hanya sekitar 0,1%, rasio kompresi simulasi berada dalam rentang toleransi katalog sebesar 21 ± 1 , BMEP simulasi (5,91 bar) menunjukkan error 2,60%, dan SFC simulasi (0,267 kg/kWh) memiliki deviasi 3,96% terhadap nilai katalog maksimum, yang secara keseluruhan masih berada dalam batas error yang dapat diterima untuk keperluan studi performa serta emisi meskipun terdapat asumsi-asumsi ideal dalam model; temuan ini sejalan dengan praktik validasi simulasi pada penelitian mesin diesel di mana parameter performa seperti daya, BMEP, dan konsumsi bahan bakar dibandingkan dengan data eksperimen untuk menunjukkan kesesuaian model, termasuk error relatif kecil yang umumnya diterima dalam simulasi termodinamika mesin (Xin *et al.*, 2022).

4.2 Performa Mesin

Berdasarkan hasil running simulasi yang dilakukan dengan semua variasi yang meliputi waktu injeksi, durasi injeksi dan persentase campuran etanol ke dalam bahan bakar, diperoleh performa mesin yang beragam. Variasi yang dilakukan sangat berpengaruh terhadap hasil performa yang dihasilkan mesin

4.2.1 Performa Mesin di Waktu Injeksi 22°CA



Gambar 4.1 Grafik Output Performa Mesin pada Waktu Injeksi 22°CA

Hasil secara keseluruhan dengan kondisi variasi waktu injeksi dan durasi injeksi menyebabkan perubahan daya mesin yang signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa durasi injeksi yang lebih pendek dapat meningkatkan daya mesin Alghafis dan A. Rouf (2020). Hal ini terjadi karena waktu injeksi yang lebih maju akibat tekanan pembakaran yang dihasilkan lebih efisien dibanding waktu injeksi yang lebih mundur (Ahmed *et al.*, 2019)

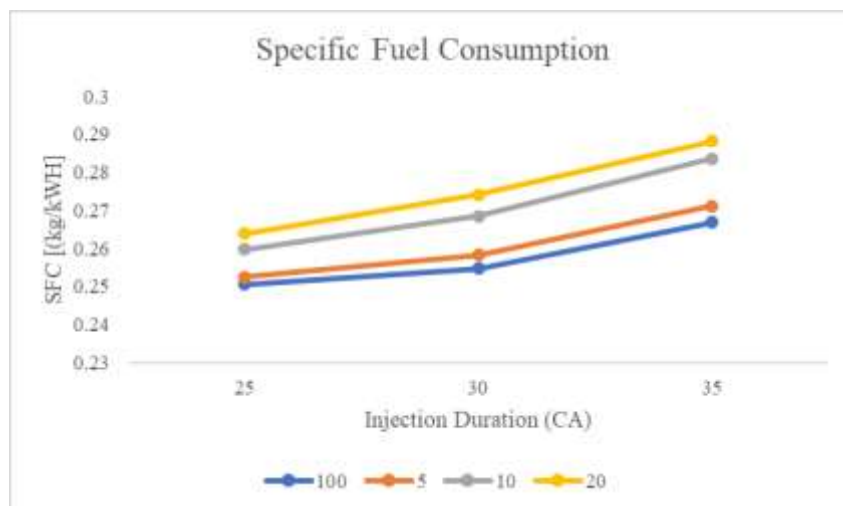
Perbandingan antar jenis bahan bakar diesel menunjukkan bahwa diesel murni tanpa campuran menghasilkan daya mesin tertinggi dibanding dengan bahan bakar diesel Etanol dalam beragam komposisi. Diesel Etanol dengan komposisi lebih kecil memiliki nilai daya mesin yang lebih baik dibanding komposisi lebih besar. Penurunan daya mesin yang disebabkan diesel yang dicampur Etanol karena nilai kalor yang lebih rendah dibanding diesel murni, seiring dengan meningkatnya komposisi Etanol dalam campuran bahan bakar. Selain itu Etanol yang memiliki nilai setana yang lebih kecil ketika dicampur dengan diesel maka secara langsung menurunkan nilai setana bahan bakar diesel Etanol. Nilai setana yang rendah juga

memengaruhi proses pembakaran yang terjadi di dalam mesin sehingga menurunkan efisiensi pembakaran dan menurunkan engine power (Chukwuezi *et al.*, 2017)

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi durasi injeksi yang pendek dan waktu injeksi yang lebih maju merupakan kondisi optimal untuk mempertahankan daya mesin, khususnya ketika menggunakan bahan bakar campuran diesel Etanol.

4.3 *Specific Fuel Consumption*

4.3.1 SFC di Waktu Injeksi 22°CA



Gambar 4.2 Grafik Output SFC pada Waktu Injeksi 22°CA

Bahan bakar diesel etanol yang memiliki nilai kalor atau *low heating value* lebih rendah dibanding diesel murni. Hal ini mengakibatkan terjadinya kenaikan SFC untuk bahan bakar campuran diesel etanol, kenaikan yang terjadi imbas dari mesin yang membutuhkan lebih banyak bahan bakar untuk menghasilkan daya yang sama seperti yang dihasilkan oleh bahan bakar diesel murni (Simsek *et al.*, 2017).

Konsumsi bahan bakar terbesar terjadi pada campuran etanol yang lebih besar, hal ini wajar terjadi dikarenakan campuran etanol yang lebih besar memiliki nilai kalor paling rendah diantara semua bahan bakar lainnya yang diuji. Perbedaan nilai kalor ini menyebabkan karakteristik pembakaran yang berbeda dimana dengan nilai kalor yang lebih rendah menyebabkan penurunan nilai *brake thermal*

efficiency sehingga diperlukan lebih banyak bahan bakar untuk menghasilkan daya yang serupa (Gnanamoorthi *et al.*, 2015).

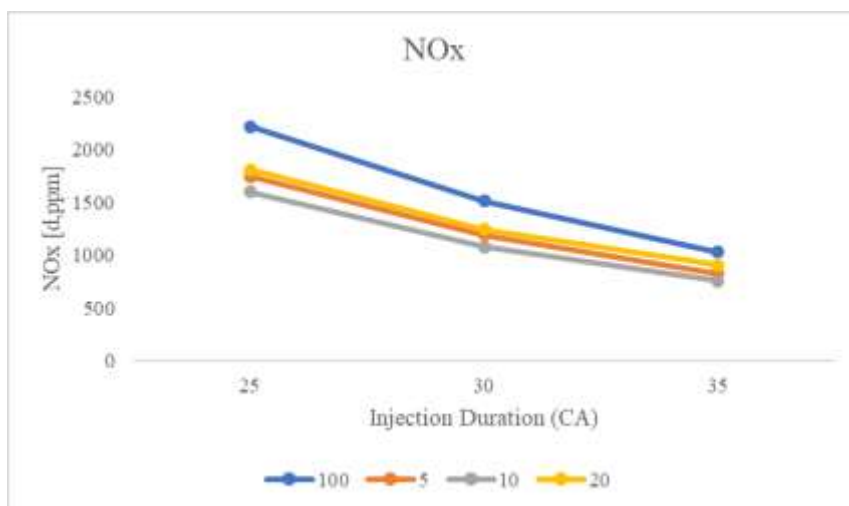
Selain pengaruh dari nilai kalor, konsumsi bahan bakar yang meningkat juga disebabkan oleh nilai bilangan setana atau CN. Etanol memiliki nilai bilangan setana yang lebih rendah dibanding dengan bahan bakar diesel murni dengan nilai 5 sampai dengan 12. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan oleh (Yanowitz *et al.*, 2014) nilai bilangan setana etanol yang digunakan pada penelitian ini sebesar 12. Pencampuran etanol ke dalam bahan bakar diesel otomatis mengurangi nilai bilangan setana. Efeknya terjadi kenaikan ignition delay karena tingginya penguapan panas laten yang berdampak pada kenaikan konsumsi bahan bakar (Kim *et al.*, 2020).

4.4 Emisi Gas Buang

Emisi gas buang merupakan indikator penting dalam mengevaluasi kualitas pembakaran dan dampak lingkungan pada mesin diesel R180, yang pembentukannya sangat dipengaruhi oleh pengaturan waktu injeksi, durasi injeksi, serta jenis bahan bakar yang digunakan. Berikut ini hasil simulasi yang dilakukan terhadap emisi gas buang.

4.4.1 Emisi NO_x

4.4.1.1 Emisi NO_x di Waktu Injeksi 22°CA

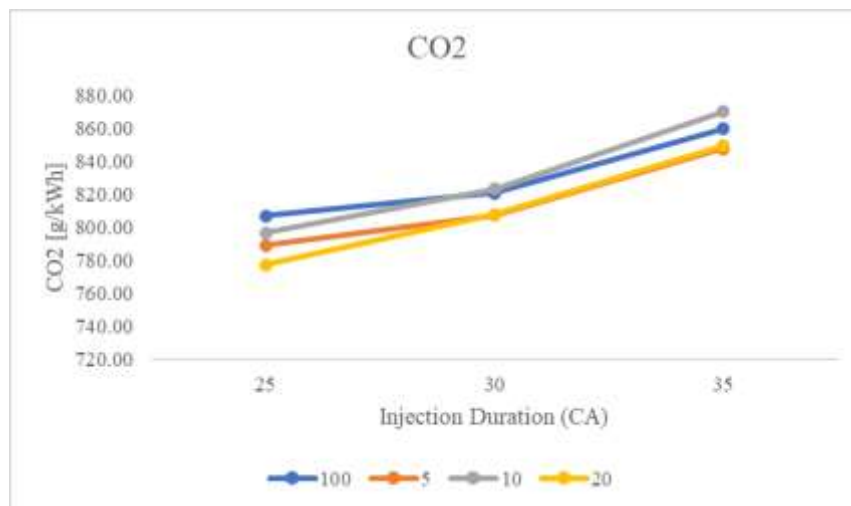


Gambar 4.3 Grafik Output NO_x pada Waktu Injeksi 22°CA

Penurunan emisi NO_x terjadi ketika menambah durasi injeksi semakin panjang, hal ini dipengaruhi karena saat durasi injeksi yang panjang menyebabkan pembakaran kurang efisien. Durasi injeksi yang lebih panjang mengakibatkan bahan bakar kehilangan kesempatan untuk terbakar sepenuhnya dan bahan bakar berlebih di dalam silinder mesin, hasilnya NO_x yang dihasilkan menurun seiring dengan penurunan suhu pembakaran namun menaikkan emisi lain akibat pembakaran yang kurang sempurna (Alghafis dan Rhouf, 2020).

4.4.2 Emisi CO₂

4.4.2.1 Emisi CO₂ di Waktu Injeksi 22°CA



Gambar 4.4 Grafik Output CO₂ pada Waktu Injeksi 22°CA

Berdasarkan ketiga grafik yang disajikan untuk emisi CO₂ diketahui bahwa durasi injeksi yang lebih panjang secara langsung meningkatkan jumlah bahan bakar yang disuntikkan ke silinder, sehingga menghasilkan lebih banyak karbon yang dioksidasi menjadi CO₂ dalam proses pembakaran pada mesin pembakaran dalam. Dalam literatur yang dilakukan oleh Ge *et al.*, (2022) variasi strategi injeksi termasuk waktu injeksi dan durasi injeksi telah terbukti memiliki dampak signifikan terhadap karakteristik pembakaran dan emisi gas buang.

Hasil perbandingan antara bahan bakar diesel dan bahan bakar campuran menunjukkan bahan bakar diesel memiliki hasil yang lebih tinggi dibanding bahan bakar campuran. Tetapi terjadi penyimpangan pada salah satu bahan bakar campuran dimana nilainya lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar diesel

karena densitas properti bahan bakar yang cukup berbeda dengan campuran diesel-etanol lainnya. Hal ini menjadi perhatian jika dibandingkan penelitian lain yang melakukan hal sama. Salah satu penelitian terbaru yang menguji campuran diesel-etanol menunjukkan bahwa peningkatan kandungan etanol hingga 10 % dan 20 % mengubah dinamika pembakaran, misalnya mempengaruhi tekanan silinder, durasi pembakaran, dan karakteristik emisi termasuk tingkat pembentukan gas seperti NO_x dan CO₂, meskipun fokus utama penelitian tersebut bukan hanya CO₂ tetapi memperlihatkan adanya perubahan pola pembakaran yang relevan untuk interpretasi emisi gas buang (Gorski *et al.*, 2025). Dengan demikian temuan bahwa penggunaan alkohol sebagai bahan bakar atau aditif dapat memodifikasi distribusi energi dan pembentukan emisi dalam mesin pembakaran internal, tergantung pada strategi injeksi dan rasio campuran bahan bakar.