

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengujian pada mesin Diesel R180 berbahan bakar D100, karakteristik emisi gas buang menunjukkan rentang nilai yang jelas bergantung pada kondisi operasi. Emisi NO_x berada pada kisaran 269.13-606.99 ppm, dengan nilai tertinggi terjadi pada waktu injeksi 22° CA tanpa *EGR* dan nilai terendah pada waktu injeksi 18° CA dengan *EGR* 20%. Emisi HC berada pada kisaran 13.56-17.21 ppm, di mana nilai tertinggi terjadi pada waktu injeksi 18° CA dengan *EGR* 20% dan putaran mesin tinggi. Emisi CO menunjukkan rentang 0.57-17.77 ppm, dengan nilai tertinggi pada waktu injeksi 18° CA tanpa *EGR* dan nilai terendah pada waktu injeksi 22° CA dengan *EGR* 20%. Sementara itu, emisi CO₂ berada pada kisaran 0.36-11.31 ppm, dengan nilai tertinggi pada kondisi tanpa *EGR* dan putaran mesin tinggi, serta nilai terendah pada *EGR* 20% dan putaran mesin rendah. Hasil ini menunjukkan bahwa setiap jenis emisi memiliki respons yang berbeda terhadap perubahan kondisi pembakaran.
2. Penerapan sistem *Exhaust gas recirculation (EGR)* terbukti memberikan dampak signifikan terhadap penurunan emisi NO_x pada seluruh variasi waktu injeksi dan kecepatan mesin. Peningkatan laju *EGR* dari 0% hingga 20% mampu menurunkan emisi NO_x lebih dari 50% dari 606.99 ppm sampai 269.13 ppm, terutama pada waktu injeksi yang lebih mundur penurunan emisi NO_x ini disebabkan oleh pergeseran awal pembakaran mendekati titik mati atas, yang menyebabkan temperatur puncak pembakaran dan waktu tinggal gas panas menurun. Selain itu, *EGR* juga menurunkan emisi CO₂ dari 11.31 ppm menjadi 0.36 ppm secara konsisten akibat berkurangnya intensitas pembakaran. Namun, penambahan *EGR* cenderung meningkatkan emisi HC, terutama pada laju *EGR* 20%, yaitu 17.21 ppm yang mengindikasikan terjadinya pembakaran kurang sempurna akibat penurunan temperatur

pembakaran dan konsentrasi oksigen. Untuk emisi CO peningkatan *EGR* secara umum menurunkan nilai CO dari 17.77 ppm hingga 0.57 ppm mencapai nilai minimum pada *EGR* 20%, meskipun kenaikan putaran mesin tetap menyebabkan kecenderungan peningkatan CO hal ini menunjukkan bahwa kombinasi temperatur pembakaran yang lebih terkendali dan pencampuran gas yang lebih homogen mampu menekan pembentukan CO secara signifikan.

3. Variasi waktu injeksi memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap karakteristik emisi. Pemunduran waktu injeksi dari 22° CA ke 20° CA dan 18° CA secara konsisten menurunkan emisi NO_x dari 606.99 ppm sampai 269.13 ppm, namun meningkatkan emisi HC dan CO, terutama pada laju *EGR* tinggi. Hal ini menunjukkan adanya pergeseran fase pembakaran yang menurunkan temperatur puncak pembakaran tetapi memperbesar kemungkinan pembakaran tidak sempurna. Sementara itu, peningkatan kecepatan mesin dari 2200 hingga 2600 RPM cenderung meningkatkan emisi HC, CO, dan CO₂ pada hampir seluruh kondisi, sedangkan emisi NO_x menunjukkan pola maksimum pada putaran menengah dan menurun pada putaran tinggi akibat berkurangnya waktu tinggal gas pada temperatur tinggi.
4. Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian, laju *EGR* 20% merupakan kondisi paling efektif dalam menurunkan emisi NO_x, baik pada waktu injeksi 22°, 20°, maupun 18° CA, serta pada seluruh rentang kecepatan mesin. Selain itu, *EGR* 20% juga menghasilkan emisi CO dan CO₂ terendah dibandingkan laju *EGR* lainnya. Namun demikian, peningkatan laju *EGR* hingga 20% disertai dengan kenaikan emisi HC, khususnya pada waktu injeksi yang lebih mundur dan putaran mesin tinggi.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh variasi laju *Exhaust gas recirculation* (*EGR*) dan waktu injeksi terhadap kinerja dan emisi mesin diesel menggunakan bahan bakar D100, beberapa saran yang dapat diajukan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pengujian eksperimental secara langsung untuk memvalidasi hasil simulasi, sehingga tingkat akurasi model dan kesesuaian terhadap kondisi operasi nyata dapat dievaluasi secara lebih komprehensif.
2. Penelitian lanjutan dapat mempertimbangkan penggunaan jenis bahan bakar alternatif atau campuran (dual fuel), untuk mengetahui pengaruh *EGR* dan waktu injeksi terhadap karakteristik pembakaran dan emisi pada bahan bakar yang lebih ramah lingkungan.
3. Disarankan untuk menambahkan parameter analisis lain, seperti tekanan puncak silinder, laju pelepasan panas (*heat release rate*), dan efisiensi termal, guna memperdalam pemahaman mengenai mekanisme pembakaran akibat penerapan *EGR* dan variasi waktu injeksi.
4. Untuk aplikasi praktis, khususnya pada mesin diesel sektor transportasi dan maritim, diperlukan kajian lanjutan terkait integrasi sistem *EGR* dengan teknologi pengendalian emisi lainnya, seperti Diesel Oxidation Catalyst (DOC) atau Selective Catalytic Reduction (SCR), agar pengurangan emisi dapat dicapai tanpa penurunan kinerja mesin yang signifikan.