UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Numerik Performa dan Emisi Co-firing LNG-Hidrogen dengan Variasi Rasio Kompresi untuk Beberapa Fraksi Mol Hidrogen pada Diesel Gas Engine
Yoga Ady Samudra, Ir. Fauzun, S.T., M.T., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL **i**
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING **iii**
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI **iiiv**
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI **v**
KATA PENGANTAR **vi**
DAFTAR ISI **viii**
DAFTAR GAMBAR **xii**
DAFTAR TABEL **xv**
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN **xvii**
INTISARI **xx**
ABSTRACT ***xxi***
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Asumsi dan Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **5**
2.1 *Co-firing* pada *Internal Combustion Engine* 5
2.2 Keaslian Penelitian 12
BAB III LANDASAN TEORI **14**
3.1 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Gas (PLTDG) 14
4.1.1 Prinsip Kerja Sistem *Dual-fuel* 15
4.1.2 Komponen Utama *Diesel Gas Engine* 16
3.2 Bahan Bakar PLTDG 19
3.2.1 *High-Speed Diesel* (HSD) 19
3.2.2 Hidrogen (H_2) 19
3.2.3 Stoikiometri Pembakaran 20
3.2.4 *Liquefied Natural Gas* (LNG) 22

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Numerik Performa dan Emisi Co-firing LNG-Hidrogen dengan Variasi Rasio Kompresi untuk Beberapa Fraksi Mol Hidrogen pada Diesel Gas Engine
Yoga Ady Samudra, Ir. Fauzun, S.T., M.T., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.3 Teori Pembakaran 22
3.3.1 Konsep Dasar Pembakaran 22
3.3.2 Mekanisme Reaksi Kimia Pembakaran 23
3.3.3 Struktur Api: *Premixed Flame* dan *Diffusion Flame* 24
3.4 *Co-Firing* 25
3.5 Kinerja Termodinamika dan Karakteristik Pembakaran Mesin 26
3.5.1 Siklus Operasi Mesin *Dual-fuel* 26
3.5.2 Tahapan Pembakaran dalam Mesin Gas 28
3.5.3 Parameter Pembakaran 29
3.5.4 Konsep *Lean-Burn* dan Pengaruhnya terhadap Kinerja 30
3.5.5 Analisis Efisiensi dan Daya Mesin 31
3.5.6 Mekanisme Pembentukan Emisi 31
3.5.7 Pengaruh Rasio Kompresi dan Fraksi H_2 terhadap Emisi 32
3.6 *Computational Fluid Dynamics* 32
3.6.1 Prinsip Dasar CFD 33
3.6.2 Persamaan Dasar (*Governing Equation*s) 34
3.6.3 Metode Diskritisasi 35
3.6.4 Formulasi *Solver* 35
3.6.5 Model Turbulensi 36
3.6.6 Model Pembakaran 38
3.6.7 Interaksi Turbulensi–Kimia 40
3.6.8 Model Pembentukan Emisi 40
3.6.9 Mekanisme Numerik ANSYS Forte 41
3.7 Validasi 44
3.7.1 Validasi Numerik 44
3.7.2 Validasi Fisis 44
3.7.3 Fungsi Validasi 45
BAB IV METODE PENELITIAN **46**
4.1 Alat Penelitian 46
4.2 Objek Penelitian 47
4.2.1 Dimensi Model 47

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Numerik Performa dan Emisi Co-firing LNG-Hidrogen dengan Variasi Rasio Kompresi untuk Beberapa Fraksi Mol Hidrogen pada Diesel Gas Engine
Yoga Ady Samudra, Ir. Fauzun, S.T., M.T., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.2.2 Spesifikasi Mesin 48
4.2.3 Data Bahan Bakar LNG 48
4.2.4 Data Bahan Bakar HSD (*Pilot Fuel*) 49
4.2.5 Data Komposisi Udara 49
4.2.6 Data *Thermal Boundary Condition* 50
4.3 Diagram Alir Penelitian 51
4.4 Tahapan Penelitian 52
4.4.1 Studi Pustaka dan Pengumpulan Data Teknis 52
4.4.2 Pemodelan Geometri dan *Meshing* 52
4.4.3 *Setup* Model dan *Boundary Condition* 52
4.4.4 Proses Komputasi Simulasi *Baseline* 52
4.4.5 *Validasi Model Numerik* 52
4.4.6 Simulasi Variasi Fraksi H_2 dan Ketebalan *Shim Plate* 53
4.4.7 Proses Komputasi dan Evaluasi Konvergensi 53
4.4.8 Analisis dan Pembahasan 53
4.5 Permodelan Geometri 53
4.6 Variabel Penelitian 56
4.6.1 Variabel Tetap 57
4.6.2 Variabel Bebas 58
4.6.3 Variabel Terikat 59
4.7 Kualitas *Mesh* 60
4.8 Prosedur Simulasi CFD 61
4.8.1 Definisi Tujuan dan Kondisi Awal 63
4.8.2 Pembuatan Geometri dan *Mesh* 63
4.8.3 Pengaturan Model Fisis dan *Solver* 64
4.8.4 Definisi *Boundary Condition* 66
4.8.5 Model Injeksi dan *Spray Pilot* Diesel 67
4.8.6 Aktivasi Reaksi Kimia dan Spesies 67
4.8.7 Kontrol Waktu dan *Output* 68
4.8.8 Eksekusi Simulasi dan Monitoring Konvergensi 68
4.8.9 Validasi Awal 68

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Numerik Performa dan Emisi Co-firing LNG-Hidrogen dengan Variasi Rasio Kompresi untuk Beberapa Fraksi Mol Hidrogen pada Diesel Gas Engine
Yoga Ady Samudra, Ir. Fauzun, S.T., M.T., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.8.10 *Post Processing* 69
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN **70**
5.1 Akurasi Model Numerik 70
5.1.1 Eksekusi Simulasi dan Monitoring Konvergensi 70
5.1.2 Kesetimbangan Massa 73
5.1.3 Kesetimbangan Energi 74
5.1.4 Kesetimbangan Atom/Spesies 77
5.2 Validasi Hasil Simulasi (*Baseline*) 80
5.3 Karakteristik Pembakaran pada Variasi Rasio Kompresi dan H_2 82
5.3.1 Fenomena Ignition Delay dan Laju Pelepasan Panas 85
5.3.2 Tekanan Silinder terhadap Sudut Engkol / $P–\theta$ 90
5.3.3 Distribusi Temperatur Gas 106
5.3.4 Evaluasi Tekanan Parsial H_2 dan Rezim Ledakan 114
5.4 Pengaruh Rasio Kompresi dan H_2 terhadap Kinerja Mesin 117
5.4.1 Daya Indikasi dan IMEP 117
5.4.2 Efisiensi Termal Indikasi dan SFC 121
5.5 Emisi Gas Buang pada Variasi H_2 dan Rasio Kompresi 126
5.5.1 Pembentukan Gas Buang *NOx* 126
5.5.2 Pembentukan Emisi Karbon: *CO* dan CO_2 133
5.5.3 Methane Slip / CH_4 Tak Terbakar 138
5.5.4 Normalisasi Emisi Karbon terhadap Karbon Masuk 141
5.6 Penentuan Kondisi Operasi Optimal 145
BAB VI PENUTUP **148**
6.1 Kesimpulan 148
6.2 Saran 149
DAFTAR PUSTAKA **150**