

**PENGARUH *EQUIVALENT RATIO* TERHADAP EMISI GAS BUANG
MOTOR BENSIN 4 LANGKAH DENGAN SISTEM INJEKSI
BERBAHAN BAKAR CNG**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**SYAFRIL ABDILLAH HIDAYAT
NIM. 115060200111002-62**

**KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN MESIN
MALANG
2015**

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGARUH *EQUIVALENT RATIO* TERHADAP EMISI GAS BUANG MOTOR BENSIN 4 LANGKAH DENGAN SISTEM INJEKSI BERBAHAN BAKAR CNG

SKRIPSI KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh

SYAFRIL ABDILLAH HIDAYAT
NIM. 115060200111002-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST.,MT.
NIP. 19740930 200012 1 001

Haslinda Kusumaningsih, ST.,M.Eng.
NIK. 201405 890102 1 2 001

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGARUH *EQUIVALENT RATIO* TERHADAP EMISI GAS BUANG MOTOR BENSIN 4 LANGKAH DENGAN SISTEM INJEKSI BERBAHAN BAKAR CNG

SKRIPSI KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

SYAFRIL ABDILLAH HIDAYAT
NIM. 115060200111002-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 28 Juli 2015

MAJELIS PENGUJI

Skripsi I

Skripsi II

Prof. Ir. Sudjito, Ph.D.
NIP. 19470330 198002 1 001

Purnami, ST., MT.
NIP. 19770707 200812 1 005

Skripsi III

Ir. Suharto, MT.
NIP. 19531030 198212 1 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1
Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Dr.Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.
NIP. 19750802 199903 2 002

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena hanya dengan limpahan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **"Pengaruh *Equivalent Ratio* terhadap Emisi Gas Buang Motor Bensin 4 Langkah dengan Sistem Injeksi Berbahan Bakar CNG"**.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat bagi mahasiswa jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang untuk memperoleh gelar sarjana Teknik. Penulis juga tidak lupa mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Kedua Orang Tua penulis yaitu Bapak H. Abu Tholib dan Ibu Hj. Siti Asnah atas segala pengorbanan baik dukungan do'a maupun material dan pelajaran bermakna yang telah diberikan kepada penulis selama ini.
2. Dr. Eng. Nurkholis Hamidi ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin dan Purnami ST., MT. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin.
3. Dr. Eng. Mega Nur S. ST., MT. selaku dosen pembimbing I skripsi yang juga sebagai kepala Lab. Motor Bakar atas semua kepercayaan, ilmu dan saran yang telah diberikan selama penyusunan skripsi.
4. Haslinda Kusumaningsih, ST., M.Eng. selaku pembimbing II skripsi, yang memberikan arahan serta bimbingan guna kesempurnaan penulisan skripsi.
5. Prof. Ir. Sudjito, Ph.D selaku ketua majelis penguji skripsi, yang selalu memberikan saran, bimbingan serta ilmu untuk kesempurnaan penulisan skripsi.
6. Seluruh Dosen pengajar dan Staf administrasi Jurusan Teknik Mesin.
7. Kedua kakak tercinta, Nurul Hidayat dan Maslacha atas segala pengalaman hidup yang berharga, doa, dan semangat yang diberikan kepada penulis.
8. Cinantya Nirmala Dewi atas segala dukungan dan motivasi kepada penulis.
9. Kepada tim Motor CNG Reza Angga Rahardja, Ricky Septian, dan Erwin Lutfi Abdillah yang selalu ada untuk berdiskusi dan sharing ilmu dengan modal semangat dan tekad yang kuat dapat menyelesaikan tugas ini sampai titik darah terakhir.
10. Keluarga Besar Laboratorium Motor Bakar, Mas Eko selaku laboran yang senantiasa mengajarkan rasa optimis. Tak lupa ucapan banyak terimakasih

atas semua kebersamaan dan dukungannya selama penyelesaian skripsi ini kepada saudara-saudaraku asisten : Kadir, John, Vero, Ucok 1, Kodok, Ucok 2 dan Hercules.

11. Keluarga Besar Divisi Otomotif, Keluarga yang membangun karakter saya hingga sekarang, terutama senior dan alumni yang banyak mengajarkan banyak ilmu
12. Saudara- Saudari Mesin 2011, terima kasih atas semua dukungan dan bantuan yang telah diberikan mulai dari mahasiswa baru sampai saat ini dan semoga sukses.
13. Keluarga Besar Laboratorium Mesin Fluida dan Laboratorium Proses Produksi atas fasilitas dan dukungannya.
14. Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Universitas Brawijaya.
15. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu, yang telah banyak membantu penulis selama proses penyusunan skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis telah berusaha sebaik mungkin untuk menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari sempurna. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyusunan yang lebih baik lagi.

Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan bagi para pembaca umumnya sekaligus menjadi bahan acuan penelitian lebih lanjut. Amin

Malang, Juli 2015

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
DAFTAR SIMBOL	x
RINGKASAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	3
2.2 Massa Alir	3
2.3 <i>Orrifice meter</i>	4
2.4 Motor Bensin	5
2.4.1 Siklus Termodinamika Motor Bensin	6
2.4.2 Siklus Otto	6
2.4.3 Prinsip Kerja Motor Bensin 4 Langkah	7
2.4.4 Pembakaran Pada Motor Bensin	8
2.4.5 AFR (<i>Air Fuel Ratio</i>)	9
2.4.6 Rasio Ekuivalen (<i>Equivalent Ratio, Φ</i>)	11
2.5 Bahan Bakar Motor Bensin.....	12
2.5.1 Bahan Bakar Minyak	12
2.5.2 Bahan Bakar Gas.....	13
2.6 CNG (<i>Compressed Natural Gas</i>).....	14
2.7 Sistem Injeksi Bahan Bakar	15
2.8 Emisi Gas Buang.....	16

2.8.1 Karbonmonoksida (CO).....	16
2.8.2 Karbondioksida (CO ₂)	17
2.8.3 Oksigen (O ₂)	17
2.8.4 Hidrokarbon (HC)	18
2.8.5 <i>Excess Air</i> (λ).....	19
2.9 Hipotesis	19
BAB III METODE PENELITIAN	20
3.1 Metode Penelitian	20
3.2 Variabel Penelitian	20
3.3 Skema Instalasi Penelitian	21
3.4 Metode Pengambilan Data	22
3.5 Metode Pengolahan Data	23
3.6 Diagram Alir Penelitan	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Analisa Data	25
4.1.1 Data Hasil Pengujian.....	25
4.1.2 Pengolahan Data	26
4.2 Pembahasan.....	35
4.2.1 Grafik hubungan antara <i>equivalent ratio</i> dengan emisi gas buang karbonmonoksida (CO).....	35
4.2.2 Grafik hubungan antara <i>equivalent ratio</i> dengan emisi gas buang karbondioksida (CO ₂).....	36
4.2.3 Grafik hubungan antara <i>equivalent ratio</i> dengan emisi gas buang hidrokarbon (HC)	38
4.2.4 Grafik hubungan antara <i>equivalent ratio</i> dengan emisi gas buang Oksigen (O ₂).....	39
4.2.5 Grafik hubungan antara <i>equivalent ratio</i> dengan <i>Excess Air</i>	40
4.2.6 Grafik hubungan antara <i>equivalent ratio</i> dengan putaran	41

BAB V PENUTUP.....43

5.1 Kesimpulan43

5.2 Saran43

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Kandungan dalam bahan bakar gas	13
Tabel 2.2	Perbandingan sifat fisis antara bahan bakar gas dengan bahan bakar cair	13
Tabel 4.1	Data rata-rata kandungan emisi gas buang bahan bakar CNG	25
Tabel 4.2	Data rata-rata kandungan emisi gas buang bahan bakar bensin	26
Tabel 4.3	Data massa alir CNG terbaca sebagai koreksi massa alir CNG teoritis	28
Tabel 4.4	Data massa alir CNG yang telah dikalibrasi	29
Tabel 4.5	Data massa alir udara teoritis dan massa alir udara aktual	31
Tabel 4.6	Data massa alir udara	32
Tabel 4.7	Data <i>Air Fuel Ratio</i> CNG dan Bensin	33
Tabel 4.8	Data <i>Equivalent Ratio</i> CNG dan Bensin	34

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	<i>Orrifice meter</i>	4
Gambar 2.2	Siklus Ideal Otto	6
Gambar 2.3	Siklus Aktual Otto	7
Gambar 2.4	Skema Langkah Kerja Motor Bakar 4 Langkah	8
Gambar 2.5	Ilustrasi Proses Pembakaran	9
Gambar 2.6	Grafik hubungan antara volume emisi gas buang terhadap AFR	10
Gambar 2.7	Grafik hubungan emisi gas buang terhadap <i>Equivalent ratio</i>	11
Gambar 2.8	Ilustrasi perbandingan emisi gas buang dari kendaraan menggunakan bahan bakar diesel (kiri), CNG (tengah), dan bensin (kanan)	15
Gambar 2.9	Sistem Injeksi Tidak Langsung	16
Gambar 3.1	Skema Instalasi Penelitian	21
Gambar 4.1	Gambar skema kalibrasi <i>flowmeter</i>	27
Gambar 4.2	Grafik hubungan massa alir CNG yang terbaca dengan massa alir CNG aktual	28
Gambar 4.3	Skema koreksi massa alir udara	30
Gambar 4.4	Grafik Hubungan Massa Alir Udara Teoritis dengan Massa Alir Udara Aktual	31
Gambar 4.5	Grafik Hubungan antara <i>Equivalent Ratio</i> dengan Emisi Gas Buang Karbonmonoksida (CO)	35
Gambar 4.6	Grafik Hubungan antara <i>Equivalent Ratio</i> dengan Emisi Gas Buang Karbondioksida (CO ₂)	36
Gambar 4.7	Grafik Hubungan antara <i>Equivalent Ratio</i> dengan Emisi Gas Buang Hidrokarbon	38
Gambar 4.8	Grafik Hubungan antara <i>Equivalent Ratio</i> dengan Emisi Gas Buang Oksigen (O ₂)	39

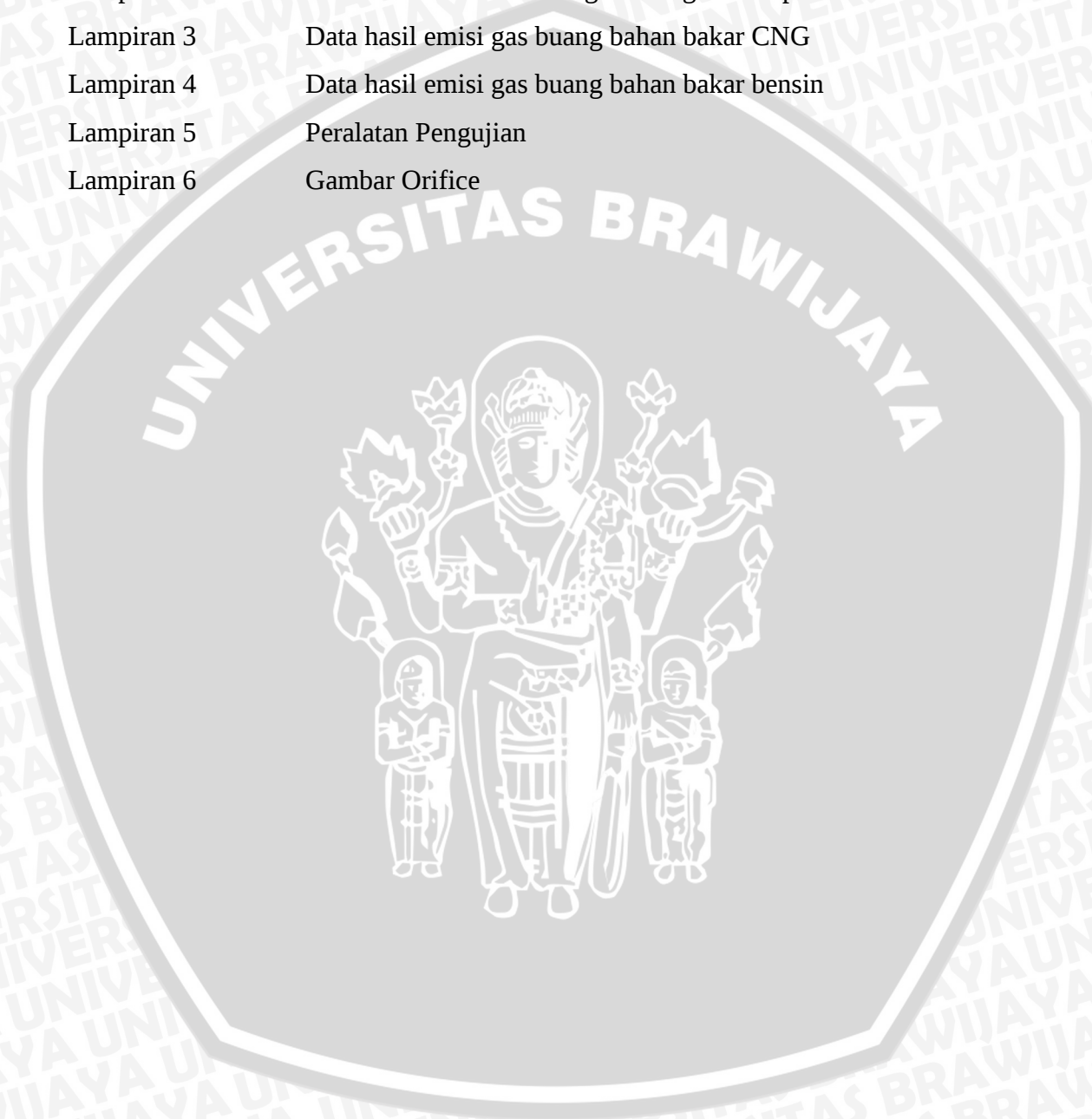
Gambar 4.9 Grafik Hubungan antara *Equivalent Ratio* dengan *Excess air*. 40

Gambar 4.10 Grafik Hubungan antara *Equivalent Ratio* dengan Putaran 41



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	<i>Printout</i> data hasil emisi gas buang CNG pada titik stoikiometri
Lampiran 2	<i>Printout</i> data hasil emisi gas buang bensin pada titik stoikiometri
Lampiran 3	Data hasil emisi gas buang bahan bakar CNG
Lampiran 4	Data hasil emisi gas buang bahan bakar bensin
Lampiran 5	Peralatan Pengujian
Lampiran 6	Gambar Orifice



DAFTAR SIMBOL

Besaran Dasar	Satuan dan Singkatannya	Simbol
Volum Alir	m^3/s	$\dot{V}$
Percepatan	m^2/s	g
Massa Alir	kg/s	$\dot{m}$
<i>Equivalent Ratio</i>	<i>undimensional</i>	Φ
Massa Relatif	kg/mol	M
Kalor Spesifik	kJ/(kg.K)	C
Massa Jenis	kg/m^3	ρ
<i>Excess Air</i>	<i>undimensional</i>	λ



RINGKASAN

Syafril Abdillah Hidayat, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juli 2015, Pengaruh *Equivalent Ratio* Terhadap Emisi Gas Buang Motor Bensin 4 Langkah dengan Sistem Injeksi Berbahan Bakar CNG, Dosen Pembimbing : Mega Nur Sasongko, Haslinda Kusumaningsih

Semakin tinggi pemakaian energi fosil oleh manusia telah menghasilkan emisi gas rumah kaca yang meningkatkan temperatur bumi. Kesadaran masyarakat akan lingkungan semakin tinggi. Oleh karena itu, teknologi yang tidak ramah lingkungan akan ditinggalkan, sedangkan energi yang ramah terhadap lingkungan akan menjadi suatu pilihan untuk dikembangkan. Penelitian terkait penggunaan bahan bakar kendaraan bermotor ramah lingkungan dibandingkan bensin telah dilakukan dengan menggunakan bahan bakar *Compressed Natural Gas* (CNG).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *equivalent ratio* terhadap emisi gas buang motor bensin 4 langkah sistem injeksi berbahan bakar CNG. Penelitian ini dikontrol menggunakan *throttle butterfly valve* sehingga didapatkan variasi debit udara dengan beda tekanan 30 mmH₂O - 100 mmH₂O dengan kelipatan 5 mmH₂O. Sementara itu, massa alir bahan bakar dibuat konstan sebesar 8 liter/menit dan transmisi mesin dikondisikan netral.

Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa semakin bertambahnya *equivalent ratio* pada motor bensin 4 langkah dengan sistem injeksi akan menghasilkan tingkat emisi CO dan HC yang semakin rendah, sedangkan nilai emisi CO₂ yang semakin naik hingga titik stoikiometri kemudian turun kembali, untuk gas O₂ dan *excess air* mengalami penurunan. Hal tersebut terjadi dikarenakan pembakaran tidak sempurna akibat campuran kaya bahan bakar akibat penambahan *equivalent ratio*. *Equivalent Ratio* stoikiometri CNG didapatkan sebesar 1,0 dan *Equivalent Ratio* stoikiometri bensin didapatkan sebesar 0,999. Penggunaan bahan bakar CNG dibanding bahan bakar bensin dapat mengurangi emisi CO sebesar 62,97%, CO₂ sebesar 32,23%, dan HC sebesar 40,49 %.

Kata kunci : bahan bakar motor, CNG, massa alir udara, *equivalent ratio*, emisi gas buang.