

**PENGARUH VARIASI CAMPURAN BENSIN – AIR PADA ALAT *PROCESSOR*
MULTI – FUEL TERHADAP UNJUK KERJA DAN EMISI GAS BUANG
MOTOR BENSIN**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun oleh:

**IMAM GANIDIAN
NIM. 0410620050-62**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN MESIN
MALANG
2009**

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH VARIASI CAMPURAN BENSIN – AIR PADA ALAT *PROCESSOR*
MULTI – FUEL TERHADAP UNJUK KERJA DAN EMISI GAS BUANG
MOTOR BENSIN**

SKRIPSI KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun oleh:

**IMAM GANIDIAN
NIM. 0410620050-62**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing I

Pembimbing II

**Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
NIP. 19720903 199702 1 001**

**Ir. Agustinus Ariseno, MT.
NIP. 19510822 198701 1 001**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI CAMPURAN BENSIN – AIR PADA ALAT *PROCESSOR*
MULTI – FUEL TERHADAP UNJUK KERJA DAN EMISI GAS BUANG
MOTOR BENSIN**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

IMAM GANIDIAN
NIM. 0410620050-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 10 September 2009

Skripsi 1

Skripsi 2

Ir. Ari Wahjudi, MT.
NIP. 19680324 199412 1 001

Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng.
NIP. 19740121 199903 1 001

Komprehensif

Ir. Imam Zaky, MT.
NIP. 19450918 197702 1 001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
NIP. 19720903 199702 1 001

PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala berkah dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi dengan judul **“Pengaruh Variasi Campuran Bensin – Air pada Alat *Processor Multi – Fuel* terhadap Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang Motor Bensin”**.

Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu persyaratan akademis yang harus diajukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik dari Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Atas selesainya skripsi ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya sekaligus pembimbing utama skripsi yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan selama penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Dr.Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng., selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ir. Agustinus Ariseno, MT., selaku pembimbing skripsi yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan selama penyusunan skripsi ini.
4. Seluruh Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan yang sangat mendukung selama penyusunan skripsi ini.
5. Seluruh Staf Recording atas bantuan dan kelancaran dalam hal urusan administrasi dan surat menyurat.
6. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan doa serta dukungan moril dan materiil selama penelitian dan penyusunan skripsi.
7. Kinanti yang telah memberikan doa, bantuan, dan semangat.
8. Teman-teman asisten Laboratorium Motor Bakar dan mas Eko yang telah membantu penelitian.
9. Ardiansyah selaku rekan kerja penelitian yang sangat membantu atas kerja keras dan semangat yang tinggi.
10. Keluarga besar Ardiansyah atas dukungan tenaga dan pikiran.
11. Rekan-rekan Mesin 2004 untuk seluruh dukungan yang diberikan.
12. Seluruh pihak terkait yang telah membantu dan tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu saran dan kritik yang bersifat membangun sangat penulis harapkan untuk masukan di masa mendatang. Akhirnya penulis berharap semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Malang, September 2009

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
RINGKASAN	ix
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	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian yang Lain	4
2.2 Motor Bakar Torak	4
2.3 Motor Otto	4
2.3.1. Siklus Ideal Motor Otto Empat Langkah	5
2.3.2. Siklus Aktual Motor Otto Empat Langkah	7
2.4 Pembakaran	9
2.4.1. Pembakaran pada Motor Otto Empat Langkah	10
2.4.2. Emisi Gas CO	11
2.5 Unjuk Kerja Motor Otto	12
2.5.1. Torsi (T)	12
2.5.2. Daya Efektif (Ne)	12
2.5.3. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif (SFCe)	13
2.5.4. Efisiensi Termal Efektif (η_{te})	13
2.4.5. Analisis Emisi Gas Buang	14
2.6 Air (H ₂ O)	15
2.7 Gas Metana	15
2.8 <i>Processor Multi – Fuel</i>	15





2.9 Hipotesis	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Metode Penelitian	17
3.2 Variabel Penelitian	17
3.3 Alat yang Digunakan	18
3.3.1. Alat Utama	18
3.3.2. Peralatan Bantu	19
3.4 Tempat Penelitian	19
3.5 Pelaksanaan Penelitian	19
3.5.1. Penyusunan Alat Penelitian	19
3.5.2. Prosedur Penelitian	21
3.6 Analisis Statistika	21
3.7 Diagram Alir Penelitian	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Analisis Data	27
4.1.1. Data Hasil Pengujian	27
4.1.2. Perhitungan Data	30
4.1.3. Analisis Varian	34
4.1.3.1. Analisis Statistik untuk Torsi yang Dihasilkan	34
4.1.3.2. Analisis Statistik untuk Daya Efektif yang Dihasilkan	35
4.1.3.3. Analisis Statistik untuk <i>Specific Fuel Consumption</i> <i>Effective</i> yang Dihasilkan	36
4.1.3.4. Analisis Statistik untuk Efisiensi Termal Efektif yang Dihasilkan	36
4.1.3.5. Analisis Statistik untuk Emisi Gas CO yang Dihasilkan	37
4.1.3.6. Analisis Statistik untuk Emisi Gas HC yang Dihasilkan	37
4.2 Pembahasan	38
4.2.1. Hubungan antara Putaran dengan Torsi	38
4.2.2. Hubungan antara Putaran dengan Daya Efektif	40
4.2.3. Hubungan antara Putaran dengan <i>Specific Fuel Consumption</i> <i>Effective</i>	41
4.2.4. Hubungan antara Putaran dengan Efisiensi Termal Efektif	43
4.2.5. Hubungan antara Putaran dengan Emisi Gas CO	45
4.2.6. Hubungan antara Putaran dengan Emisi Gas HC	46

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	48
5.1 Kesimpulan	48
5.2 Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 3.1	Kemampuan Pengukuran <i>Gas Analyzer</i>	18
Tabel 3.2	Rancangan Pengamatan Model Dua Arah dengan Pengulangan	23
Tabel 3.3	Analisis Varian	25
Tabel 4.1	Data Hasil Pengujian Motor Otto Berbahan Bakar Bensin	27
Table 4.2	Data Hasil Pengujian Motor Otto Berbahan Bakar Campuran Air 25%	28
Table 4.3	Data Hasil Pengujian Motor Otto Berbahan Bakar Campuran Air 50%	29
Table 4.4	Data Hasil Pengujian Motor Otto Berbahan Bakar Campuran Air 75%	30
Tabel 4.5	Analisis Varian Dua Arah untuk Torsi	35
Tabel 4.6	Analisis Varian Dua Arah untuk Daya Efektif	35
Tabel 4.7	Analisis Varian Dua Arah untuk <i>Specific Fuel Consumption Effective</i>	36
Tabel 4.8	Analisis Varian Dua Arah untuk Efisiensi Termal Efektif	36
Tabel 4.9	Analisis Varian Dua Arah untuk Emisi Gas CO	37
Tabel 4.10	Analisis Varian Dua Arah untuk Emisi Gas HC	38



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Skema Langkah Kerja Motor Bensin Empat Langkah	5
Gambar 2.2	Gambar Diagram Hubungan ($p - v$) dan ($T - s$)	7
Gambar 2.3	Siklus Aktual Motor Otto Empat Langkah	8
Gambar 2.4	Grafik Hubungan Perbandingan Udara – bahan Bakar dengan Jumlah CO, H ₂ , dan O ₂ Dalam Gas Buang	11
Gambar 2.5	Skema Instalasi <i>Processor Multi – Fuel</i>	16
Gambar 3.1	Skema Instalasi Alat Pengujian	20
Gambar 4.1	Grafik Hubungan antara Putaran dengan Torsi	38
Gambar 4.2	Grafik Hubungan antara Putaran dengan Daya Efektif	40
Gambar 4.3	Grafik Hubungan antara Putaran dengan SFCE	42
Gambar 4.4	Grafik Hubungan antara Putaran dengan Efisiensi Termal Efektif	43
Gambar 4.5	Grafik Hubungan antara Putaran dengan Emisi Gas CO	45
Gambar 4.6	Grafik Hubungan antara Putaran dengan Emisi Gas CO variasi campuran bensin-air 25%, 50%, dan 75% Air	45
Gambar 4.7	Grafik Hubungan antara Putaran dengan Emisi Gas HC	46
Gambar 4.8	Grafik Hubungan antara Putaran dengan Emisi Gas HC variasi campuran bensin-air 25%, 50%, dan 75% Air	47

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1.	Hasil Pengolahan Data Pengujian Motor Bensin Empat Langkah
Lampiran 2.	Kalibrasi <i>Orifice</i> Udara
Lampiran 3.	Perhitungan Niai Kalor Bahan Bakar
Lampiran 4.	Rumus Berat Jenis Udara dan Tabel Udara
Lampiran 5.	Perhitungan Berat Jenis Udara
Lampiran 6.	Gambar Paralatan Pengujian
Lampiran 7.	Sertifikat dan Hasil Pengujian Sampel Bahan Bakar

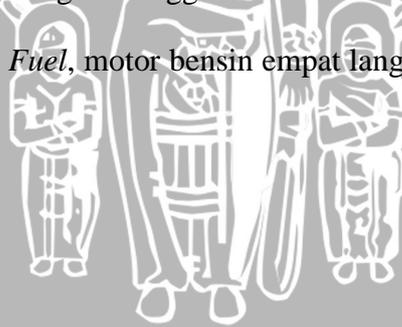


RINGKASAN

Imam Ganidian, Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, September 2009, *Pengaruh Variasi Campuran Bensin – Air pada Alat Processor Multi – Fuel terhadap Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang Motor Bensin*, Dosen Pembimbing: Slamet Wahyudi dan Agustinus Ariseno.

Kendaraan saat ini yang banyak digunakan adalah kendaraan bermotor berbahan bakar minyak yang berasal dari minyak bumi. Untuk menghadapi masalah menipisnya bahan bakar minyak dan pencemaran lingkungan akibat gas buang hasil proses pembakaran perlu adanya pemanfaatan bahan bakar alternatif pengganti BBM atau penemuan alat-alat dan modifikasi untuk menghemat konsumsi BBM serta mengurangi pencemaran akibat pembakaran yang tidak sempurna. Salah satu upaya yang dapat dilakukan yaitu penggunaan alat Processor Multi – Fuel. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh campuran bensin – air pada alat *Processor Multi – Fuel* terhadap unjuk kerja dan emisi gas CO dan HC. Persentase campuran yang digunakan yaitu 25%, 50%, dan 75% air dari campuran dan variasi yang digunakan yaitu putaran poros engkol 3000, 3500, 4000, 4500, dan 5000 rpm. Data hasil pengujian menunjukkan bahwa emisi gas CO dan HC mengalami penurunan seiring bertambahnya persentase air. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya gas metan yang dihasilkan dan bertambahnya jumlah zat (air) pengikat gas emisi dan jelaga. Pada penelitian ini, emisi gas CO terendah dicapai pada campuran air 75% dan putaran 3000 rpm sebesar 0,049% vol. Emisi gas HC terendah dicapai pada campuran air 50% dan putaran 4500 rpm sebesar 109 ppm vol. Unjuk kerja yang optimal dapat dicapai dengan menggunakan bahan bakar campuran air 25%. Sedangkan untuk emisi gas CO dan gas HC yang rendah dapat menggunakan bahan bakar campuran air 75%. Secara keseluruhan, unjuk kerja yang baik dan emisi gas buang yang rendah dicapai dengan menggunakan bahan bakar campuran air 50%.

Kata kunci: *Processor Multi – Fuel*, motor bensin empat langkah, persentase campuran, unjuk kerja.



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Setiap manusia membutuhkan kendaraan untuk memenuhi kebutuhan mobilitasnya. Kendaraan saat ini yang banyak dipakai adalah kendaraan bermotor berbahan bakar minyak sebagai sumber energi. Minyak bumi merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui. Namun, pemakaian bahan bakar minyak bumi kian hari semakin meningkat seiring pertambahan jumlah penduduk dunia. Persediaan minyak di perut bumi semakin menipis, sehingga perlu adanya penemuan sumber energi atau bahan bakar alternatif.

Pembakaran yang tidak sempurna pada kendaraan bermotor sangat mencemari lingkungan dan dapat menurunkan performa mesin. Proses pembakaran yang sempurna, bahan bakar akan bersenyawa dengan oksigen. Hidrogen dalam bahan bakar yang bersenyawa dengan oksigen menjadi uap air (H_2O) dan karbon yang bersenyawa dengan oksigen menjadi karbon dioksida (CO_2). Akan tetapi, pada kenyataannya proses pembakaran yang terjadi tidak sempurna, sehingga kendaraan mengeluarkan beberapa jenis polutan berbahaya, seperti hidrokarbon (HC), oksida nitrogen (NO_x), oksida belerang (SO_x), dan karbon monoksida (CO).

Untuk menghadapi masalah menipisnya bahan bakar minyak dan pencemaran lingkungan akibat gas buang hasil proses pembakaran perlu adanya pemanfaatan bahan bakar alternatif pengganti BBM atau penemuan alat-alat dan modifikasi untuk menghemat konsumsi BBM serta mengurangi pencemaran akibat pembakaran yang tidak sempurna. Salah satu upaya yang dapat dilakukan yaitu penggunaan alat *Processor Multi – Fuel* dengan bahan bakar campuran bensin – air. Bensin merupakan bahan bakar konvensional yang paling banyak dikonsumsi oleh masyarakat. Sedangkan air jumlahnya melimpah, dapat ditemukan dimana-mana. Air yang dapat digunakan adalah air yang bersih dapat berasal dari air PDAM, air sumur, atau air sungai.

Dengan bahan bakar campuran air, bahan bakar yang dikonsumsi sebagian akan digantikan oleh air. Akan tetapi, dengan adanya pemasukan air dalam ruang bakar akan mempengaruhi proses pembakaran yang terjadi. Semakin banyak jumlah air yang dimasukkan dapat mengganggu proses pembakaran. Tenaga yang dihasilkan oleh *engine* juga akan terpengaruh. Sedangkan hasil gas buang akan semakin baik dengan jumlah air yang banyak karena jumlah zat pelarut yang dapat mengikat gas emisi

semakin banyak. Oleh karena itu penulis ingin mengetahui pengaruh campuran bensin – air pada alat *Processor Multi – Fuel* terhadap unjuk kerja dan emisi gas buang motor bensin.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

Bagaimana pengaruh variasi campuran bensin – air pada alat *Processor Multi – Fuel* terhadap unjuk kerja dan emisi gas buang motor bensin.

1.3 Batasan Masalah

1. Mesin yang digunakan untuk penelitian adalah motor Otto empat langkah 125cc, satu silinder.
2. Mesin pengujian yang digunakan dalam keadaan tidak berjalan (statis).
3. Bensin yang digunakan adalah premium dari SPBU.
4. Campuran yang digunakan adalah 25%, 50%, dan 75% air terhadap jumlah campuran bensin – air yang digunakan.
5. Parameter yang digunakan untuk mengetahui kinerja adalah Torsi (T), Daya Efektif (Ne), Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif (SFCe), dan Efisiensi Termal Efektif (η_{te}).
6. Emisi gas buang yang diukur dengan *gas analyser* adalah gas CO dan gas HC.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi campuran bensin – air pada alat *Processor Multi – Fuel* terhadap Torsi, Daya Efektif, Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif, Efisiensi Termal Efektif, serta emisi gas karbon monoksida (CO) dan gas hidrokarbon (HC) pada motor Otto empat langkah.
2. Untuk mengetahui campuran bensin – air yang dapat menghasilkan unjuk kerja yang optimal serta emisi gas CO dan gas HC yang rendah pada motor Otto empat langkah.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan cara alternatif untuk mengurangi konsumsi BBM dengan tanpa menurunkan unjuk kerja motor Otto empat langkah.
2. Menghasilkan bahan bakar yang ramah lingkungan.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian yang Lain

Paul Pantone telah melakukan pembuatan alat *Processor Multi – Fuel* yang diaplikasikan pada motor bensin seperti mesin pemotong rumput dan mesin *genset* kecil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan PMF dapat menurunkan emisi gas CO sebesar 0,2 – 0,3%, gas CO₂ turun sebesar 12 – 13%, gas HC dapat turun menjadi 150 ppm, dan gas O₂ turun sekitar 2 – 3%.

2.2 Motor Bakar Torak

Motor bakar torak termasuk salah satu jenis penggerak mula yang mengubah energi kimia bahan bakar kedalam bentuk energi panas atau potensial gas hasil pembakaran untuk melakukan kerja mekanik. Proses ini berlangsung dalam ruangan yang dibatasi dinding silinder, kepala silinder, dan puncak torak, sehingga motor bakar ini termasuk dalam mesin pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*). Gas yang dihasilkan dari proses pembakaran tersebut berfungsi sebagai fluida kerja yang digunakan untuk menggerakkan torak yang oleh batang penghubung dihubungkan dengan poros engkol. Gerak translasi dari torak mengakibatkan terjadinya gerak rotasi atau putaran pada poros engkol dan begitu juga sebaliknya gerak rotasi dari poros engkol mengakibatkan gerak translasi pada torak.

Berdasarkan jenis penyalannya motor bakar di bagi 2 macam, yaitu motor bakar bensin (*Otto*) dan motor diesel. Pada motor bensin penyalan bahan bakar dengan bantuan loncatan bunga api listrik diantara dua elektroda busi, sehingga motor bensin (*Otto*) disebut juga SIE (*Spark Ignition Engines*). Berdasarkan jumlah langkahnya tiap siklus, dibedakan menjadi motor bakar dua langkah dan motor bakar empat langkah. Motor bakar empat langkah adalah motor bakar yang dalam satu kali siklus kerjanya memerlukan empat kali langkah torak. Satu kali langkah torak adalah gerak torak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB) atau sebaliknya.

2.3 Motor Otto

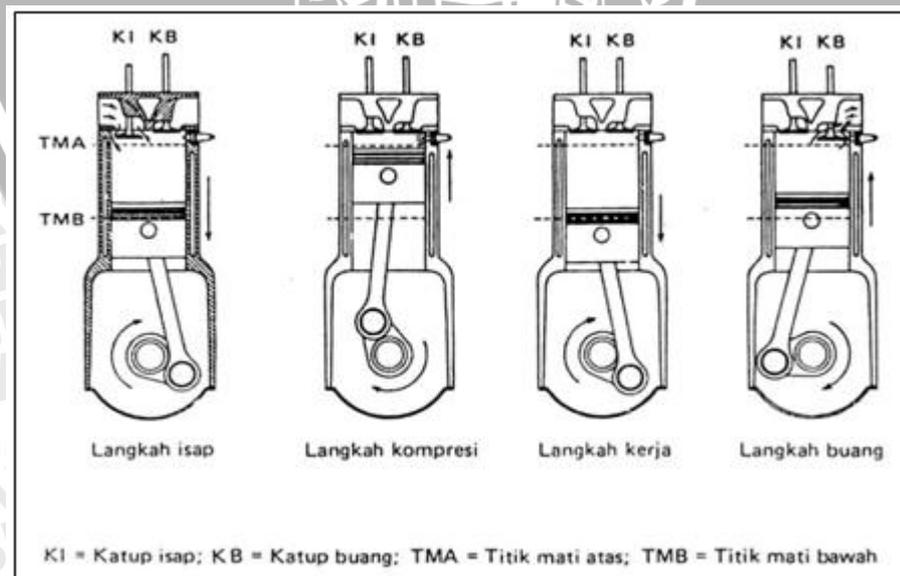
Motor Otto atau lebih dikenal dengan motor bensin dilengkapi dengan busi dan karburator. Busi digunakan untuk menyalakan campuran bahan bakar dan udara. Karburator ialah tempat percampuran bahan bakar dengan udara, dimana bahan bakar

tersebut disemprotkan melalui *pilot* dan *main jet* akibat perbedaan tekanan pada lubang venturi yang dialiri oleh udara. Campuran tersebut kemudian masuk ke dalam ruang bakar melalui *intake manifold* dan dibakar oleh percikan bunga api listrik dari busi menjelang langkah akhir kompresi, sehingga menghasilkan gas pembakaran sebagai fluida kerja yang digunakan untuk melakukan kerja.

2.3.1 Siklus Ideal Motor Otto Empat Langkah

Proses termodinamika dan kimia yang terjadi di dalam motor bakar torak sangat kompleks untuk dianalisis menurut teori. Untuk memudahkan analisis perlu membayangkan bahwa proses tersebut sebagai suatu keadaan yang ideal, akan tetapi dengan sendirinya akan semakin jauh menyimpang dari keadaan yang sebenarnya. Pada mesin yang ideal proses pembakaran yang dapat menghasilkan gas bertekanan dan bertemperatur tinggi tersebut dimisalkan sebagai proses pemasukan panas kedalam fluida kerja di dalam silinder.

Pada motor Otto empat langkah torak bergerak dari Titik Mati Atas (TMA) ke Titik Mati Bawah (TMB), dimana setiap kali bergerak dari TMA ke TMB ataupun dari TMB ke TMA dihitung satu kali langkah. Oleh karena itu pada motor bakar empat langkah pada setiap siklusnya terdiri dari empat kali gerakan torak atau dua kali putaran poros engkol. Untuk memperjelas prinsip kerja motor Otto empat langkah tersebut, dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.1 Skema Langkah Kerja Motor Bensin Empat Langkah.

Sumber: Arismunandar (2002:8).

Proses pembakaran didalam mesin Otto terjadi secara periodik sebagai berikut:

a. Langkah isap (*Suction Stroke*)

Torak bergerak dari posisi TMA (Titik Mati Atas) ke TMB (Titik Mati Bawah), dengan KI (Katup Isap) terbuka dan KB (Katup Buang) tertutup. Karena gerakan torak tersebut maka campuran udara dan bahan bakar akan terisap masuk ke dalam ruang bakar.

b. Langkah kompresi (*Compression Stroke*)

Torak bergerak dari posisi TMB ke TMA, dengan KI dan KB tertutup, sehingga terjadi proses kompresi yang mengakibatkan tekanan dan temperatur di dalam silinder naik.

c. Langkah ekspansi (*Expansion Stroke*)

Sebelum posisi torak mencapai TMA pada langkah kompresi, busi dinyalakan sehingga terjadi proses pembakaran. Akibatnya tekanan dan temperatur di ruang bakar naik lebih tinggi, sehingga torak mampu melakukan langkah kerja atau langkah ekspansi. Langkah kerja dimulai dari posisi torak pada TMA dan berakhir pada posisi TMB saat KB mulai terbuka pada awal langkah buang. Langkah ekspansi pada proses ini sering disebut dengan *power stroke* atau langkah kerja.

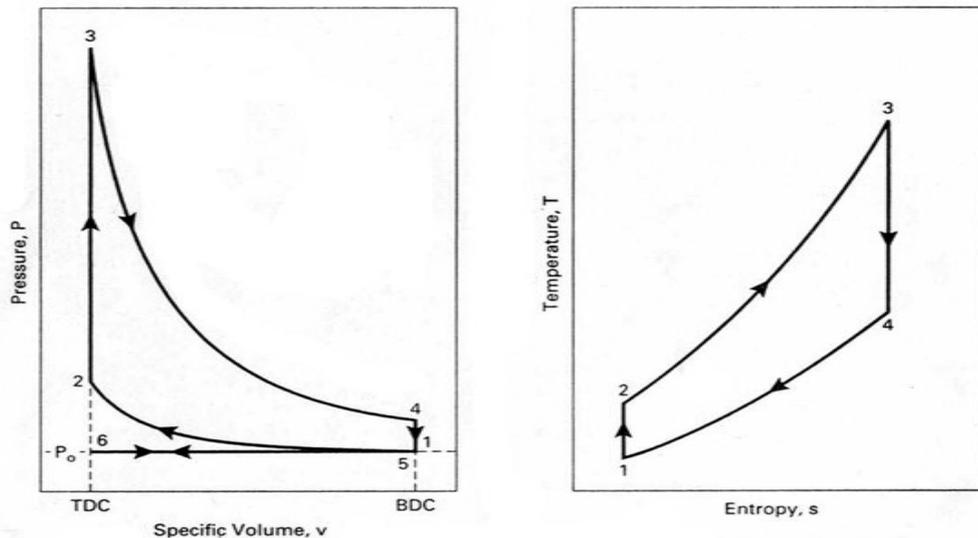
d. Langkah buang

Torak bergerak dari TMB ke TMA. KI tertutup dan KB terbuka, sehingga gas hasil pembakaran terbuang ke atmosfer.

Dalam menganalisis proses yang terjadi di dalam motor Otto empat langkah akan ditunjukkan melalui skema siklus motor Otto empat langkah secara ideal. Siklus udara menggunakan beberapa keadaan yang sama dengan siklus sebenarnya, misalnya mengenai:

1. Urutan proses
2. Perbandingan kompresi
3. Pemilihan temperatur dan tekanan pada suatu keadaan
4. Penambahan kalor yang sama per satuan berat udara.

Siklus motor Otto empat langkah dapat ditunjukkan dalam diagram ($P - v$) dan diagram ($T - s$) berikut:



Gambar 2.2 Gambar Diagram Hubungan ($p - v$) dan ($T - s$).
 Sumber: Pulkrabek (2004:90).

Langkah kerja siklus Otto terdiri dari:

- Proses 0 – 1 : Langkah isap / pengisian secara isobarik
- Proses 1 – 2 : Langkah kompresi / tekan secara isentropik
- Proses 2 – 3 : Proses pemanasan dan pembakaran secara isokhorik
- Proses 3 – 4 : Langkah kerja / ekspansi secara isentropik
- Proses 4 – 1 : Proses pendinginan / pengeluaran kalor secara isokhorik
- Proses 1 – 0 : Langkah buang / pengeluaran gas sisa hasil pembakaran

2.3.2 Siklus Aktual Motor Otto Empat Langkah

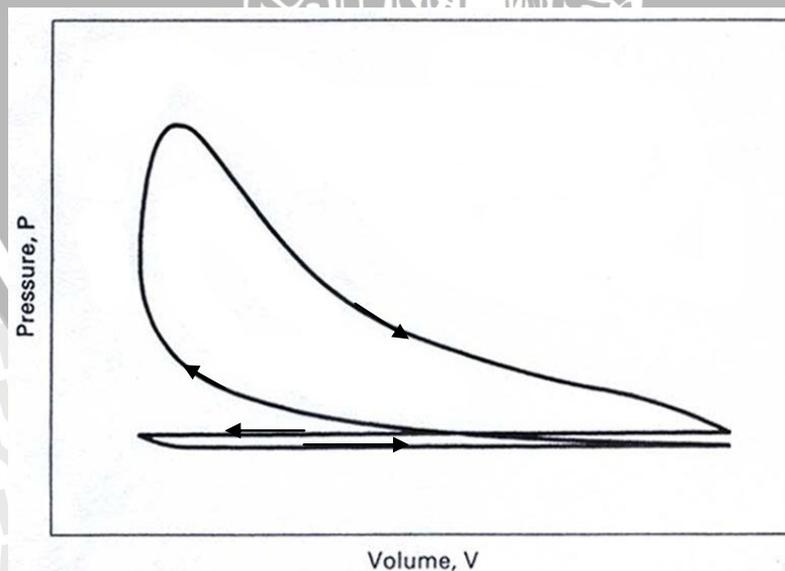
Proses langkah kerja motor Otto empat langkah dalam kenyataannya tidak dapat bekerja dalam kondisi ideal. Menurut Arismunandar, W (2002:29), penyimpangan dari siklus ideal itu terjadi karena dalam keadaan sebenarnya terjadi kerugian yang antara lain disebabkan oleh beberapa hal sebagai berikut:

1. Kebocoran fluida kerja karena penyekatan oleh cincin torak dan katup tidak sempurna.
2. Katup tidak dibuka dan ditutup tepat di TMA dan TMB karena pertimbangan dinamika mekanisme katup dan kelembaman fluida kerja.
3. Fluida kerja bukanlah udara yang dapat dianggap sebagai gas ideal dengan kalor spesifik yang konstan selama proses siklus berlangsung.
4. Pada motor bakar torak yang sebenarnya, pada waktu torak berada di TMA tidak terdapat proses pemasukan kalor seperti pada siklus udara. Kenaikan tekanan

dan temperatur fluida kerja disebabkan oleh proses pembakaran bahan bakar dan udara di dalam silinder.

5. Proses pembakaran memerlukan waktu, tidak berlangsung sekaligus. Akibatnya proses pembakaran berlangsung pada volume ruang bakar yang berubah-ubah karena gerakan torak. Dengan demikian proses pembakaran harus sudah dimulai beberapa saat sebelum torak mencapai TMA dan berakhir beberapa saat setelah torak meninggalkan TMA menuju TMB. Jadi proses pembakaran tidak dapat berlangsung pada volume konstan atau pada tekanan konstan.
6. Terdapat kerugian kalor yang disebabkan oleh perpindahan kalor dari fluida kerja ke fluida pendingin, terutama pada langkah kompresi, ekspansi dan pada waktu gas buang meninggalkan silinder.
7. Terdapat kerugian energi kalor yang dibawa oleh gas buang dari dalam silinder ke atmosfer.
8. Terjadi kerugian energi karena gesekan antara fluida kerja dengan dinding salurannya.

Dalam siklus udara standar, langkah buang dan langkah isap tidak diperlukan karena fluida kerja udara tetap berada di dalam silinder. Apabila tekanan gas dan volume silinder secara bersamaan pada setiap posisi torak dapat diukur maka dapat digambarkan siklus aktual motor Otto, yang bentuknya seperti ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2.3 Siklus Aktual Motor Otto Empat Langkah.
Sumber: Pulkrabek (2004:48).

Berdasarkan semua hal tersebut maka bentuk diagram (P – V) dari siklus yang sebenarnya tidak sama dengan bentuk diagram siklus ideal. Pada siklus yang sebenarnya tidak pernah terjadi suatu proses dengan volume konstan atau tekanan konstan. Karena semua penyimpangan diatas menimbulkan kerugian energi, maka sebaiknya diusahakan agar siklus yang sebenarnya dapat mendekati siklus yang ideal.

2.4 Pembakaran

Pembakaran merupakan reaksi kimia antara bahan bakar dan oksigen sebagai oksidator yang menyebabkan timbulnya kenaikan temperatur. Elemen utama bahan bakar adalah karbon, hidrogen, dan sulfur. Pembakaran dikatakan sempurna jika semua kandungan karbon (C) dalam bahan bakar terbakar habis membentuk karbondioksida (CO_2), semua hidrogen (H) terbakar membentuk uap air (H_2O), dan semua sulfur (S) terbakar membentuk sulfurdioksida (SO_2). Jika kondisi tersebut tidak terpenuhi, berarti pembakaran tidak sempurna.

Ditinjau secara aerodinamika ada dua jenis pembakaran, yaitu:

1. Pembakaran *premixed*

Pembakaran *premixed* adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara (oksigen) dicampur terlebih dahulu secara mekanik (misalnya dengan karburator), kemudian baru dibakar. Contohnya adalah pembakaran pada motor bensin.

2. Pembakaran difusi

Pembakaran difusi adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara pengoksidasi tidak dicampur secara mekanik, melainkan bercampur secara alami melalui proses difusi, kemudian baru dibakar. Contohnya adalah pembakaran pada motor diesel, pembakaran lilin.

Pada proses pembakaran, ada empat syarat yang harus dipenuhi agar terjadi pembakaran yang sempurna, yaitu:

1. Bahan bakar menguap secara cepat dan sempurna.
2. Digunakan cukup udara pembakaran.
3. Adanya campuran udara dan bahan bakar yang homogen.
4. Tercapainya temperatur udara yang cukup tinggi.

Jika syarat-syarat di atas tidak terpenuhi, maka akan terjadi pembakaran yang tidak sempurna. Pembakaran yang tidak sempurna akan menghasilkan oksida yang

menimbulkan polusi udara dan menurunkan efisiensi serta secara ekonomis akan sangat merugikan.

2.4.1 Pembakaran pada Motor Otto Empat Langkah

Untuk menghasilkan untuk kerja mesin yang optimal, proses pembakaran memegang peranan yang sangat penting dan proses pembakaran yang terjadi diusahakan mendekati sempurna. Dengan pembakaran yang sempurna berarti bahan bakar akan habis terbakar, sehingga energi panas yang dihasilkan akan tinggi pula dan emisi gas CO akan menurun. Hal ini juga berarti bahwa dengan konsumsi bahan bakar yang sama, tenaga yang dihasilkan oleh mesin akan lebih besar dan polusi udara yang terjadi akan lebih rendah dibandingkan jika pembakaran tidak sempurna.

Pembakaran pada mesin otto merupakan jenis pembakaran *premixed*, hal ini karena antara bahan bakar dan udara dicampur terlebih dahulu di dalam karburator, sehingga bahan bakar akan mengabut (*droplet*) dan mengalir ke ruang bakar melalui *intake manifold*. Jika menggunakan bahan bakar gas, maka proses pencampuran bahan bakar dan udara terjadi sangat mudah dan cepat pada *intake manifold*. Hal ini dapat menghasilkan campuran bahan bakar dan udara yang homogen.

Pembakaran dalam ruang bakar ini terjadi dengan sangat cepat, tetapi ada jeda waktu sesaat awal penyalaan api oleh busi sampai campuran bahan bakar dan udara terbakar habis. Setelah busi menyala, nyala api akan merambat ke segala arah dengan kecepatan yang sangat tinggi (20 – 50 m/s) dan menyalakan campuran yang dilaluinya sehingga tekanan dalam ruang bakar meningkat sesuai campuran yang terbakar (Arismunandar, 2002:82).

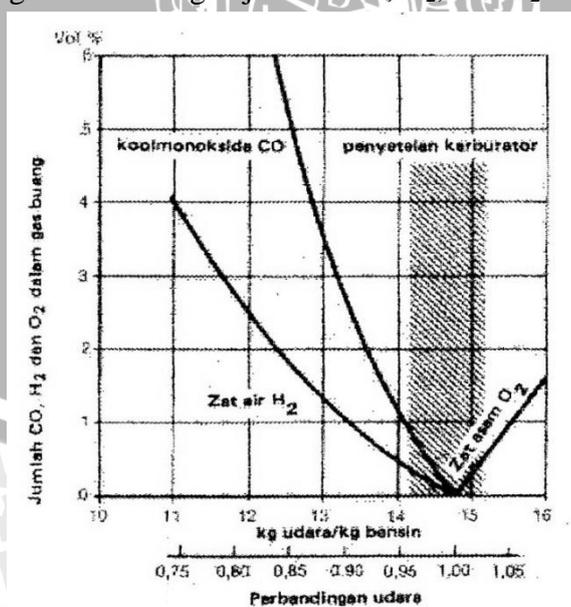
Kecepatan rambat gelombang pembakaran ini sangat menentukan besarnya tekanan yang ditimbulkan pada torak. Jika penyalaan api busi terlalu awal, maka gas sisa yang belum terbakar maupun campuran baru antara bahan bakar dan udara akan terbakar, sehingga meningkatkan temperatur dan tekanan di ruang bakar, sementara proses kompresi masih berlangsung dimana piston masih bergerak ke TMA. Akibatnya gerakan piston akan terhambat oleh gas tersebut sehingga mengurangi tenaga mesin. Jika penyalaan api busi terlambat, tekanan akan turun karena saat terbakar, torak sudah bergerak menuju TMB. Peningkatan tekanan dan temperatur gas hasil pembakaran akan menurun. Gas hasil pembakaran yang masih mempunyai tekanan tinggi akan keluar melalui katup buang, sehingga pemanfaatan energinya akan berkurang.

2.4.2 Emisi gas CO

Hasil pembakaran bahan bakar di dalam motor bakar pada umumnya adalah CO_2 , CO, H_2O (uap air), SO_x dan NO_x . Pada pembakaran yang sempurna maka pada gas buang akan dihasilkan CO_2 dan uap air (H_2O). Jika bahan bakar mengandung unsur belerang dan zat lemah udara, maka hasil pembakarannya adalah SO_x dan NO_x yang merupakan unsur polutan yang dapat mencemari udara bebas.

Karbon monoksida (CO) merupakan salah satu unsur emisi gas buang yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia karena tidak berwarna, tidak berbau dan beracun yang dapat menimbulkan rasa sakit pada mata, saluran pernafasan dan paru-paru. Apabila masuk dalam darah melalui pernafasan, CO akan bereaksi dengan hemoglobin dalam darah membentuk COHb (*Carboxyhemoglobin*), CO berikatan sangat kuat dengan Hb sehingga menghalangi fungsi vital Hb untuk membawa oksigen bagi tubuh.

Menurut Arends, BPM. dan Berenschot, H (1994:73), bahwa banyaknya CO dari gas buang itu tergantung dari perbandingan bahan bakar dan udara, hanya pada pembakaran yang sempurna dari bahan bakarnya maka nilai CO-nya dapat nihil. Hal ini dapat dicapai pada perbandingan secara teoritis 14,8 : 1. Perbandingan sebesar ini selama motor berjalan jarang dapat dipertahankan, karena kualitas campuran selalu berubah dengan frekuensi putar dan pembebanan motor. Berikut disajikan grafik hubungan perbandingan udara dengan jumlah CO, H_2 , dan O_2 dalam gas buang.



Gambar 2.4 Grafik Hubungan Perbandingan Udara – Bahan Bakar dengan Jumlah CO, H_2 , dan O_2 Dalam Gas Buang.

Sumber: Arends, BPM. dan Berenschot, H. Motor Bensin (1994:73).

2.5 Unjuk Kerja Motor Otto

Pengujian dari suatu motor bakar adalah untuk mengetahui kinerja dari motor bakar itu sendiri. Parameter – parameter yang akan dibahas untuk mengetahui kinerja mesin dalam penelitian motor Otto empat langkah ini meliputi:

1. Torsi (T).
2. Daya efektif (Ne).
3. Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCe).
4. Efisiensi termal efektif (η_{te}).
5. Emisi gas CO dan HC.

2.5.1 Torsi (T)

Torsi merupakan momen putar yang dihasilkan oleh poros mesin. Besarnya torsi suatu mesin dapat diukur dengan menggunakan alat yang disebut *dynamometer*, yang akan menunjukkan besarnya gaya atau beban pengereman pada poros, sehingga harga torsi dapat dicari dari hubungan antara perkalian besarnya beban pengereman dengan panjang lengan yang menghubungkan timbangan dengan poros. Besarnya torsi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$T = F \times L$$

(Bueche; 1988: 16)

dengan :

T = torsi yang dihasilkan (kg.m)

F = besarnya beban pengereman (kg)

L = panjang lengan dinamometer (m)

Ada juga alat yang langsung menunjukkan hasil besarnya torsi yang dihasilkan oleh poros dengan satuan (kg.m) atau (lb.ft).

2.5.2 Daya Efektif (Ne)

Daya efektif merupakan daya yang dihasilkan oleh poros engkol untuk menggerakkan beban. Daya efektif ini dibangkitkan oleh daya indikasi, yaitu suatu daya yang dihasilkan oleh torak, dimana sebagian dari daya ini digunakan untuk mengatasi gesekan mekanis, misalnya gesekan antara torak dan dinding silinder, gesekan antara poros dan bantalan, untuk menggerakkan peralatan bantu (pompa oli pelumas), dan lainnya. Daya efektif didapatkan dengan mengalikan torsi (T) dengan kecepatan anguler poros (ω). Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$Ne = T \cdot \omega = \frac{T \cdot 2 \cdot \pi \cdot n}{60 \cdot 75} = \frac{T \cdot n}{716,2} \quad (\text{Arismunandar; 2002: 32})$$

dengan:

Ne = daya efektif (PS)

T = torsi (kg.m)

ω = kecepatan anguler poros (rad.detik⁻¹)

n = putaran poros (rpm)

2.5.3 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif (SFCE)

Konsumsi bahan bakar spesifik efektif adalah jumlah bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya efektif selama 1 jam. *Specific Fuel Consumption Effective* (SFCE) dengan persamaan sebagai berikut:

$$SFCE = \frac{Fc}{Ne} \quad (\text{Petrovsky; 1979: 63})$$

dengan:

$SFCE$ = *Specific Fuel Consumption Effective* (kg.PS⁻¹.jam⁻¹)

Fc = konsumsi bahan bakar (kg.jam⁻¹)

Ne = daya efektif (PS)

Konsumsi bahan bakar spesifik efektif dapat dijadikan ukuran ekonomis dan tidaknya pemakaian bahan bakar. Konsumsi bahan bakar spesifik efektif yang rendah menunjukkan efisiensi termal efektif yang tinggi karena efisiensi termal efektif berbanding terbalik dengan nilai konsumsi bahan bakar spesifik efektif.

2.5.4 Efisiensi Termal Efektif (η_{te})

Efisiensi termal efektif merupakan perbandingan antara kalor yang dirubah menjadi daya efektif dengan kalor yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar. Efisiensi termal efektif merupakan suatu ukuran untuk mengetahui ekonomis atau tidaknya dalam pemakaian bahan bakar. Seberapa efisien bahan bakar yang dapat dikonversi menjadi daya efektif poros. Nilai dari efisiensi termal efektif juga berbanding terbalik dengan nilai konsumsi bahan bakar spesifik. Jadi jika konsumsi bahan bakar spesifik efektif semakin turun, maka efisiensi termal efektif akan meningkat. Biasanya efisiensi termal efektif dihitung dengan rumus :

$$\eta_{te} = \frac{Q_e}{Q_b} = \frac{632 \cdot N_e}{F_c \cdot LHV_{bb}} \times 100 = \frac{632}{SFCE \cdot LHV_{bb}} \times 100 \quad (\text{Petrovsky; 1979: 62})$$

dengan:

η_{te} = efisiensi termal efektif (%)

Q_e = jumlah kalor yang dirubah menjadi daya efektif (kkal.kg⁻¹)

Q_b = jumlah kalor dari pembakaran bahan bakar dan udara (kkal.kg⁻¹)

F_c = konsumsi bahan bakar (kg.jam⁻¹)

$SFCE$ = *Specific Fuel Consumption Effective* (kg.PS⁻¹.jam⁻¹)

LHV_{bb} = nilai kalor rendah bahan bakar (kkal.kg⁻¹)

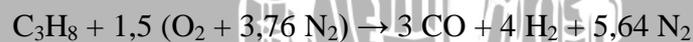
2.5.5 Analisis Emisi Gas Buang

Sisa hasil pembakaran pada motor bakar adalah berupa gas CO₂, O₂, CO, HC dan polutan-polutan lain. Namun sebagian besar kandungan gas buang tersebut adalah CO₂, CO, O₂ dan N₂. Emisi gas buang yang dianalisis pada penelitian ini adalah gas CO dan HC, karena gas CO dan HC merupakan salah satu indikator sempurna atau tidaknya pembakaran yang terjadi. Kadar emisi gas CO dan HC dapat diukur dengan menggunakan *gas analyzer*.

a. Gas CO

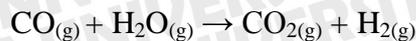
Gas CO dihasilkan dari proses pembakaran suatu bahan bakar yang dapat terjadi akibat terbatasnya suplai oksigen atau udara dari jumlah yang diperlukan.

Reaksi yang mungkin terjadi di antaranya:



Gas CO ini bersifat racun terhadap tubuh karena bila masuk ke dalam darah, CO dapat bereaksi dengan Hemoglobin (Hb) untuk membentuk *Carboxyhemoglobin* (COHb). Bila reaksi tersebut terjadi, maka kemampuan darah mengangkut O₂ untuk kepentingan pembakaran dalam tubuh akan menjadi berkurang. Hal ini disebabkan karena kemampuan Hb untuk mengikat CO jauh lebih besar (sekitar 200 kali lebih) dibandingkan kemampuan Hb untuk mengikat O₂. Selain itu kandungan COHb dalam darah dapat menyebabkan terganggunya sistem urat saraf dan fungsi tubuh pada konsentrasi rendah (2-10%) dan bisa menyebabkan kematian pada konsentrasi tinggi (>10%).

Konsentrasi CO pada gas buang dapat dikurangi dengan cara mereaksikannya dengan uap air (H₂O). Reaksi yang mungkin terjadi yaitu:



b. HC (Hidrokarbon)

HC adalah senyawa hidrokarbon yang tidak terbakar yang dihasilkan dari proses pembakaran yang tidak sempurna. HC sangat terkait dengan efisiensi pembakaran dari bahan bakar. Reaksi pembakaran yang tidak sempurna ini bisa disebabkan oleh karena rendahnya rasio udara – bahan bakar (A/F) atau karena pencampuran udara dari bahan bakar yang tidak homogen. HC merupakan senyawa yang bila kandungannya tinggi di udara akan dapat mencemari lingkungan dan dapat menyebabkan gangguan penglihatan.

2.6 Air (H₂O)

Air adalah substansi kimia dengan rumus kimia H₂O dimana satu molekul air tersusun atas dua atom hidrogen yang berikatan pada satu atom oksigen. Air dapat berwujud cair, padat, dan gas (uap air). Zat kimia ini memiliki kemampuan untuk melarutkan banyak zat kimia lainnya, seperti garam-garam, gula, asam, beberapa jenis gas dan banyak macam molekul organik. Air sering disebut sebagai pelarut *universal* karena air melarutkan banyak zat kimia. Dalam bentuk ion, air dapat dideskripsikan sebagai sebuah ion hidrogen (H⁺) yang berikatan dengan sebuah ion hidroksida (OH⁻).

2.7 Gas Metana

Metana adalah hidrokarbon paling sederhana yang berbentuk gas dengan rumus kimia CH₄. Pembakaran satu molekul metana dengan oksigen akan melepaskan satu molekul CO₂ (karbondioksida) dan dua molekul H₂O (air):

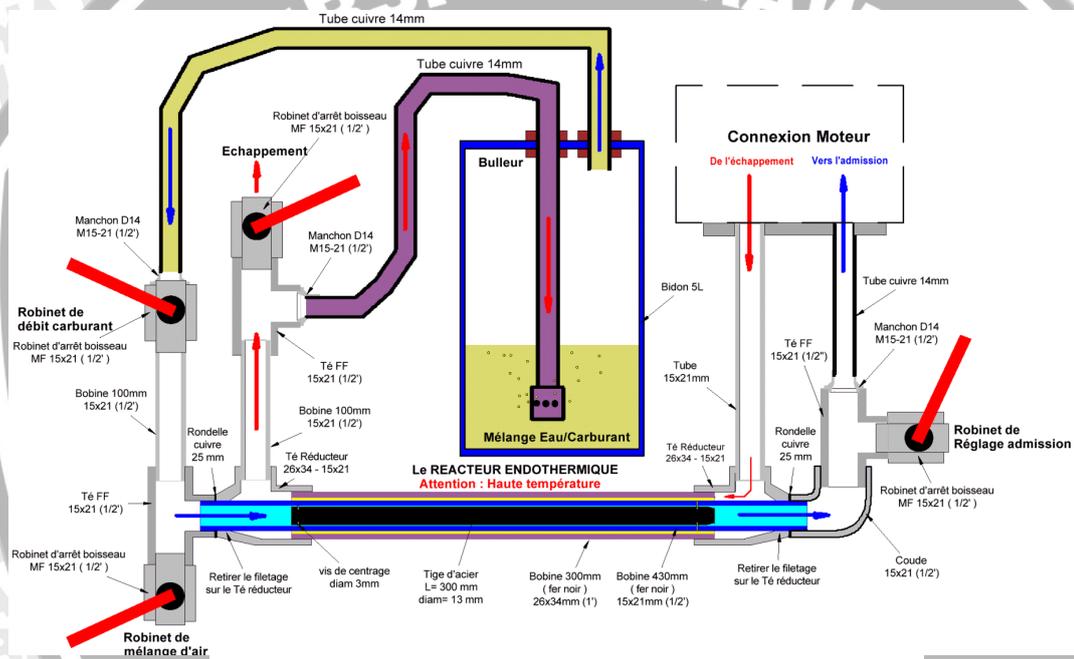


Gas metana dapat terbentuk dari reaksi kimia unsur-unsur pembentuknya. Terdiri dari satu atom C dan empat atom H, dapat berasal dari reaksi gas CO dengan uap air (H₂O) dan *gasoline* pada alat *Processor Multi – Fuel*.

2.8 *Processor Multi – Fuel*

Processor Multi – Fuel merupakan alat pendaur gas buang menjadi gas yang dapat dimanfaatkan menjadi bahan bakar dan dipasang pada motor Otto. Prinsip

kerjanya yaitu gas buang sisa pembakaran dimasukkan ke dalam tabung dan direaksikan dengan campuran bensin – air. Di dalam tabung terjadi reaksi antara air, bensin, dan gas buang kendaraan yang mengandung CO, CO₂ dan HC, sehingga menghasilkan gas metana (CH₄). Suhu tabung bahan bakar mencapai 150 sampai 200 derajat celcius ketika bekerja. Untuk menjalankannya, panas diambil dari gas buang. Proses pencampuran gas metana dari hasil reaksi dengan bensin terjadi sudah dalam fase gas. Gas-gas inilah yang dicampur dengan udara dan dimasukkan ke dalam *intake manifold* kemudian dibakar di dalam ruang bakar. PMF dapat menggunakan kombinasi campuran etanol – air, kerosin – air, dan campuran bahan bakar cair lain yang mudah dibakar. Berikut disajikan skema *Processor Multi – Fuel*:



Gambar 2.5 Skema Instalasi *Processor Multi – Fuel*.
Sumber: www.jlnlabs.org

2.9 Hipotesis

Dengan penambahan air pada alat *Processor Multi – Fuel* akan menambah jumlah uap air pada tabung campuran bensin – air yang dapat meningkatkan terjadinya reaksi antara gas buang, bensin, dan uap air yang menghasilkan gas metana lebih banyak, selain itu juga akan meningkatkan jumlah zat pelarut dalam tabung yang dapat mengikat jelaga dan zat-zat emisi sehingga pada proses pembakaran dapat meningkatkan performa mesin dan menurunkan emisi gas buang.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian experimental semu (*Quasi Experimental Research*), dimana mesin diuji dalam kondisi tidak berpindah tempat. Metode ini dilakukan dengan cara membandingkan unjuk kerja mesin yang meliputi torsi (T), daya efektif (Ne), konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCe), dan efisiensi termal efektif (η_{te}), serta emisi gas CO dan gas HC pada mesin Otto empat langkah dengan menggunakan bahan bakar bensin dan bahan bakar bensin dicampur air dengan persentase air 25%, 50%, dan 75%.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini ada tiga macam yaitu :

1. Variabel bebas (*independent variable*)

Variabel bebas yaitu variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah:

- Putaran poros 3000, 3500, 4000, 4500, dan 5000 rpm.

2. Variabel terikat (*dependent variable*)

Variabel terikat yaitu variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan oleh peneliti tetapi besarnya tergantung pada variabel bebasnya. Penelitian ini memiliki variabel terikat yang meliputi:

- Torsi (kg.m)
- Daya efektif (PS)
- Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (kg .PS⁻¹.jam⁻¹)
- Efisiensi termal efektif (%)
- Emisi gas CO (% vol)
- Emisi gas HC (ppm vol)

3. Variabel kontrol (*control variable*)

Variabel kontrol yaitu variabel yang ditentukan oleh peneliti dan nilainya dikondisikan konstan. Variabel kontrol yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

- Buka *throttle* motor bensin yaitu 100%.
- Variasi campuran bensin dengan air sebesar 25%, 50%, dan 75% air terhadap jumlah campuran bensin – air.

3.3 Alat – alat yang digunakan

3.3.1 Alat utama

Peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Motor bensin empat langkah dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Merk mesin : Honda Kharisma125cc
- Tipe mesin : 4 langkah, OHC, pendingin udara
- Siklus : 4 Langkah
- Jumlah silinder : 1 buah
- Volume langkah : 124,91 cm³
- Diameter silinder : 52,4 mm
- Panjang langkah torak : 57,9 mm
- Daya poros maksimum : 9,3 PS / 7500 rpm
- Torsi maksimum : 1,03 kgf.m / 4000 rpm
- Perbandingan kompresi : 9,0 : 1
- Pencampuran Bahan Bakar : Karburator (modifikasi)
- Negara pembuat : Jepang

2. Gas Analiser

Alat yang digunakan untuk mengukur kadar emisi gas CO dan gas HC dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Merk Stargas Mod 898
- Kemampuan pengukuran tertera pada tabel berikut:

Tabel 3.1. Kemampuan Pengukuran *Gas Analyzer*

Yang diukur	Kemampuan	Satuan
CO	0 – 15,000	% Vol
CO ₂	0 – 20,00	% Vol
HC	0 – 30000	ppm Vol
O ₂	0 – 25,00	% Vol
NO	0 – 5000	ppm Vol
Lambda	0,5 – 2,000	-

Sumber: *Operating Instructions Manual Book of Gas Analyzer* (2005:56)

3.3.2 Peralatan bantu

1. *Flow meter* (meter alir)

Berupa tabung atau pipa yang didalamnya dipasang *orifice*. Digunakan untuk mengukur konsumsi udara yang dipakai selama pengujian.

2. *Tachometer*

Digunakan untuk mengukur kecepatan putaran poros mesin. Satuan yang digunakan adalah rpm (*rotation per minute*).

3. *Dynamometer*

Digunakan untuk mengukur gaya pengereman pada poros *output*. Dalam hal ini alat yang digunakan sudah menunjukkan hasil besarnya torsi.

4. Barometer

Digunakan untuk mengukur tekanan udara ruangan selama penelitian berlangsung.

5. Termometer

Digunakan untuk mengukur temperatur ruangan selama penelitian.

6. *Tube manometer*

Digunakan untuk mengukur beda tekanan pada *orifice*. Beda tekanan ditunjukkan dengan beda ketinggian fluida (minyak tanah) pada manometer U.

7. *Stopwatch*

Digunakan untuk mengukur waktu yang dibutuhkan *engine* menghabiskan bensin dengan volume tertentu.

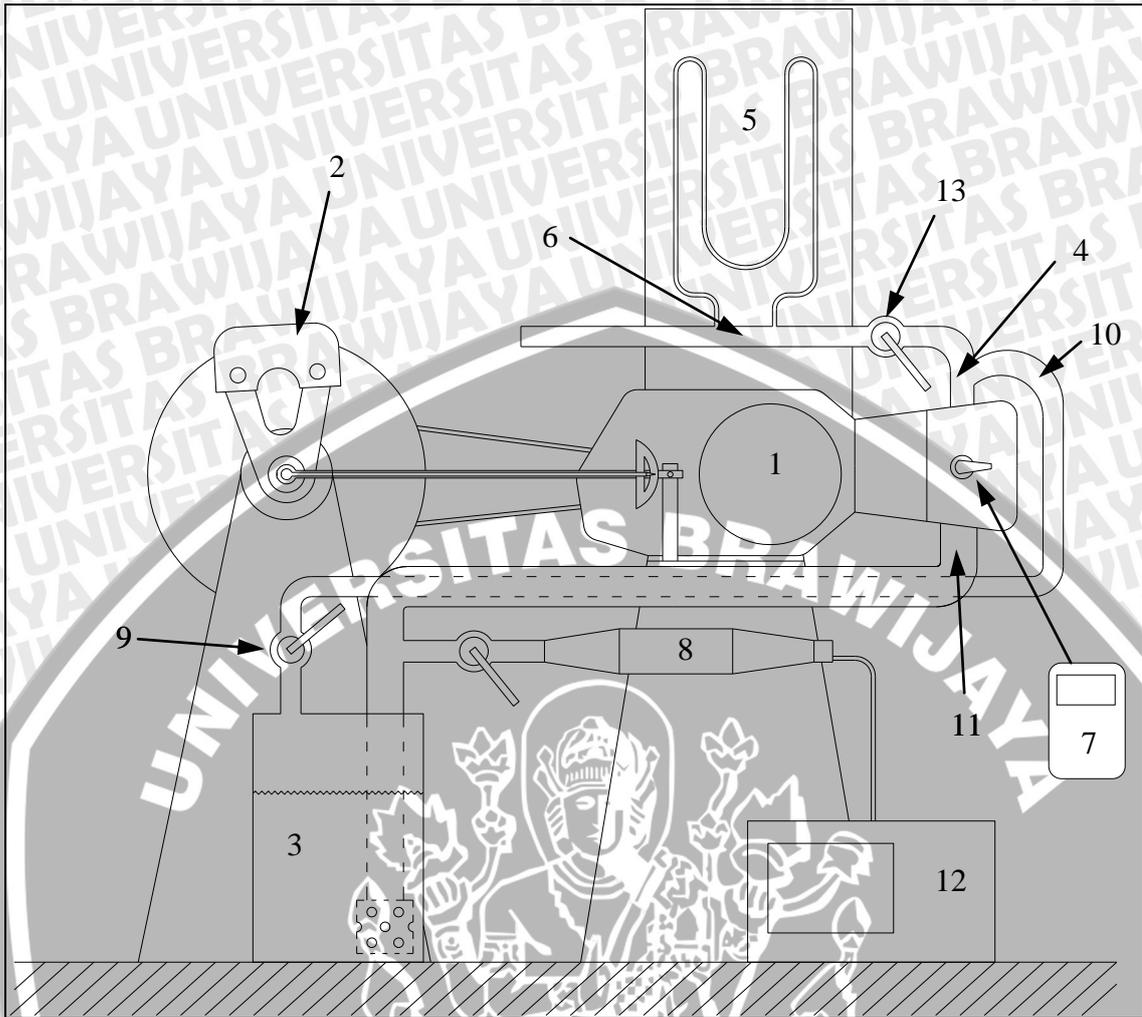
3.4 Tempat Penelitian

Penelitian tentang bagaimana pengaruh campuran bensin dengan air terhadap unjuk kerja dan emisi gas CO dan HC dari motor bensin empat langkah ini dilakukan di laboratorium Motor Bakar Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang pada tanggal 25 Juli 2009.

3.5 Pelaksanaan Penelitian

3.5.1 Penyusunan Alat Penelitian

Sebelum penelitian dilaksanakan dilakukan persiapan penyusunan alat – alat penelitian. Mempersiapkan instalasi utama (gambar 3.1) yang dirangkai menjadi satu kesatuan. Kemudian dilakukan persiapan peralatan pengujian serta penyetingan mesin dalam kondisi baik.



Gambar 3.1 Skema Instalasi Alat Pengujian.

Keterangan:

- | | |
|-----------------------------------|---|
| 1. Motor Otto | 8. Knalpot |
| 2. <i>Prony brake dynamometer</i> | 9. <i>Valve</i> |
| 3. Tabung bensin – air | 10. Saluran bahan bakar |
| 4. <i>Intake manifold</i> | 11. Saluran gas buang |
| 5. Manometer U | 12. <i>Gas analyzer</i> |
| 6. <i>Orifice</i> | 13. <i>Throttle</i> |
| 7. <i>Tachometer</i> | 3. 9. 10. 11. Merupakan <i>Processor Multi – Fuel</i> |

3.5.2 Prosedur Penelitian

Langkah – langkah yang dilakukan untuk setiap pengujian adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan bahan bakar yaitu pencampuran antara bensin dan air dengan persentase air 25%.
2. Sudut pengapian pada kondisi standart yaitu 27° sebelum TMA.
3. Mesin dinyalakan beberapa menit sampai dalam kondisi kerjanya.
4. Trothle dibuka pada posisi 100%.
5. Putaran mesin diatur pada putaran 3000 rpm dengan cara mengatur pembebanan pada dinamometer, kemudian diambil data sebagai berikut:
 - Besarnya putaran (rpm).
 - Torsi mesin (kg.m).
 - Perbedaan tekanan pada *orifice* konsumsi udara (mm kerosin).
 - Konsumsi bahan bakar (lt.jam^{-1}).
 - Besarnya lambda (λ)
 - Kandungan emisi gas CO dan gas HC.
6. Putaran dinaikkan setiap 500 rpm kemudian diambil data seperti pada no. 5 sampai pada putaran 5000 rpm.
7. Disiapkan lagi campuran bensin – air dengan persentase air 50% dan 75% kemudian dilakukan langkah 5. Dan 6.

3.6 Analisis Statistika

Untuk mengolah data yang telah diperoleh digunakan analisis varian dua arah. Dengan analisis varian dua arah akan diketahui ada tidaknya pengaruh dari variasi putaran poros motor Otto dan pengaruh variasi campuran bensin dengan air serta pengaruh interaksi keduanya terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, dan efisiensi termal efektif serta emisi gas CO dan gas HC.

Putaran poros motor Otto mempunyai level A_1, A_2, \dots, A_r dan variasi campuran bensin dengan air mempunyai level B_1, B_2, \dots, B_c . Jumlah pengamatan tiap sel adalah t kali dari rancangan dua kategori A dan B serta masing-masing kategori terdiri atas r dan c level. Bila pengaruh interaksi antar putaran poros motor Otto pada level ke i dan pengaruh campuran bensin dengan air pada level ke j dinyatakan dengan $(\alpha\beta)_{ij}$. Maka nilai setiap pengamatan ditulis dengan model matematika sebagai berikut:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (\text{Wahyudi; 2006: 96})$$

dimana:

Y_{ijk} = nilai setiap pengamatan

μ = nilai rata-rata dari seluruh pengamatan

α_i = pengaruh putaran poros ke i

β_j = pengaruh persentase campuran air ke j

$(\alpha\beta)_{ij}$ = pengaruh interaksi putaran poros motor Otto ke i dan persentase campuran air ke j

ε_{ijk} = simpangan pengamatan

Yang akan kita uji dari pengamatan ini adalah:

1. α = pengaruh (efek) dari putaran poros
2. β = pengaruh (efek) dari persentase campuran
3. $\alpha\beta$ = pengaruh interaksi dari putaran poros motor Otto dan persentase campuran

Adapun hipotesis yang dipergunakan adalah sebagai berikut:

- I. $H_0^1 : \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_i = 0$ (tidak ada pengaruh variasi putaran mesin terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, efisiensi termal efektif, dan emisi gas CO dan HC).

H_1^1 : paling sedikit satu $\alpha_i \neq 0$ (ada pengaruh variasi putaran mesin terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, efisiensi termal efektif, dan emisi gas CO dan HC).

- II. $H_0^2 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_j = 0$ (tidak ada pengaruh variasi persentase air terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, efisiensi termal efektif, dan emisi gas CO dan HC).

H_1^2 : paling sedikit satu $\beta_j \neq 0$ (ada pengaruh variasi persentase air terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, efisiensi termal efektif, dan emisi gas CO dan HC).

- III. $H_0^3 : (\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = \dots = (\alpha\beta)_{ij} = 0$ (tidak ada pengaruh variasi putaran mesin dan variasi persentase air terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, efisiensi termal efektif, dan emisi gas CO dan HC).

H_1^3 : paling sedikit satu $(\alpha\beta) \neq 0$ (ada pengaruh variasi putaran mesin dan variasi persentase air pada bensin terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, efisiensi termal efektif, dan emisi gas CO dan HC).

Tabel 3.2. Rancangan Pengamatan Model Dua Arah dengan Pengulangan

Faktor	Variasi Persentase Air				Σ Baris	Rata-rata	
	B ₁	...	B _j	...			B _c
A ₁	X ₁₁₁		X _{1j1}		X _{1c1}	T _{1..}	X̄ _{1..}
	X ₁₁₂		X _{1j2}		X _{1c2}		
		
	X _{11t}		X _{1jt}		X _{1ct}		
	T _{11.}		T _{1j.}		T _{1c.}		
A _i	X _{i11}		X _{ij1}		X _{ic1}	T _{i..}	X̄ _{i..}
	X _{i12}		X _{ij2}		X _{ic2}		
		
	X _{i1t}		X _{ijt}		X _{ict}		
	T _{i1.}		T _{ij.}		T _{ic.}		
A _r	X _{r11}		X _{rj1}		X _{rc1}	T _{r..}	X̄ _{r..}
	X _{r12}		X _{rj2}		X _{rc2}		
		
	X _{r1t}		X _{rjt}		X _{rc t}		
	T _{r1.}		T _{rj.}		T _{rc.}		
Σ Kolom	T _{.1.}		T _{.j.}		T _{.c.}	T _{...}	
Rata-rata	X̄ _{.1.}		X̄ _{.j.}		X̄ _{.c.}		X̄ _{...}

Sumber: Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT. (2006:96)

Dalam perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut:

1. Jumlah kuadrat total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t X_{ijk}^2 - \frac{(\dots)^2}{rct} \quad (\text{Wahyudi; 2006: 98})$$

Jumlah kuadrat putaran poros (JKA)

$$JKA = \frac{\sum_{i=1}^r T_{i..}^2}{ct} - \frac{(\dots)^2}{rct} \quad (\text{Wahyudi; 2006: 98})$$

2. Jumlah kuadrat variasi persentase air (JKB)

$$JKB = \frac{\sum_{j=1}^c T_{.j.}^2}{rt} - \frac{(\dots)^2}{rct} \quad (\text{Wahyudi; 2006: 98})$$

3. Jumlah kuadrat interaksi perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c T_{ij.}^2}{t} - \frac{(\dots)^2}{rct} \rightarrow JKAB = JKP - JKA - JKB$$

4. Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKP = JKT - JKA - JKB - JKAB \quad (\text{Wahyudi; 2006: 98})$$

Apabila masing-masing suku dibagi dengan derajat bebasnya, akan diperoleh nilai varian dari masing – masing suku tersebut. Nilai ini sering disebut dengan kuadrat tengah yang disingkat KT. Nilai varian tersebut adalah:

1. Kuadrat tengah putaran poros (KTA)

$$KTA = \frac{JKA}{(r-1)} \quad (\text{Wahyudi; 2006: 98})$$

2. Kuadrat tengah variasi persentase air (KTB)

$$KTB = \frac{JKB}{(c-1)} \quad (\text{Wahyudi; 2006: 98})$$

3. Kuadrat tengah interaksi putaran poros dan variasi persentase air (KTAB)

$$KTAB = \frac{JKAB}{(r-1)(c-1)} \quad (\text{Wahyudi; 2006: 98})$$

4. Kuadrat tengah galat (KTG)

$$KTG = \frac{JKG}{rc(t-1)} \quad (\text{Wahyudi; 2006: 98})$$

Untuk menguji ketiga hipotesis diatas kita mencari harga F_{hitung} masing – masing sumber keragaman (putaran poros, variasi persentase air dan interaksi putaran poros dan variasi persentase air) kemudian hasilnya dibandingkan dengan F_{tabel} pada derajat bebas yang sesuai dengan nilai α tertentu. Nilai F_{hitung} dari masing-masing sumber keragaman adalah sebagai berikut:

1. F_{hitung} dari variasi putaran poros

$$F_1 = \frac{KTA}{KTG} \quad (\text{Wahyudi; 2006: 98})$$

2. F_{hitung} dari variasi persentase air

$$F_2 = \frac{KTB}{KTG} \quad (\text{Wahyudi; 2006: 98})$$

3. F_{hitung} dari interaksi variasi putaran dan variasi persentase air

$$F_3 = \frac{KTAB}{KTG} \quad (\text{Wahyudi; 2006: 98})$$

Tabel 3.3. Analisis Varian

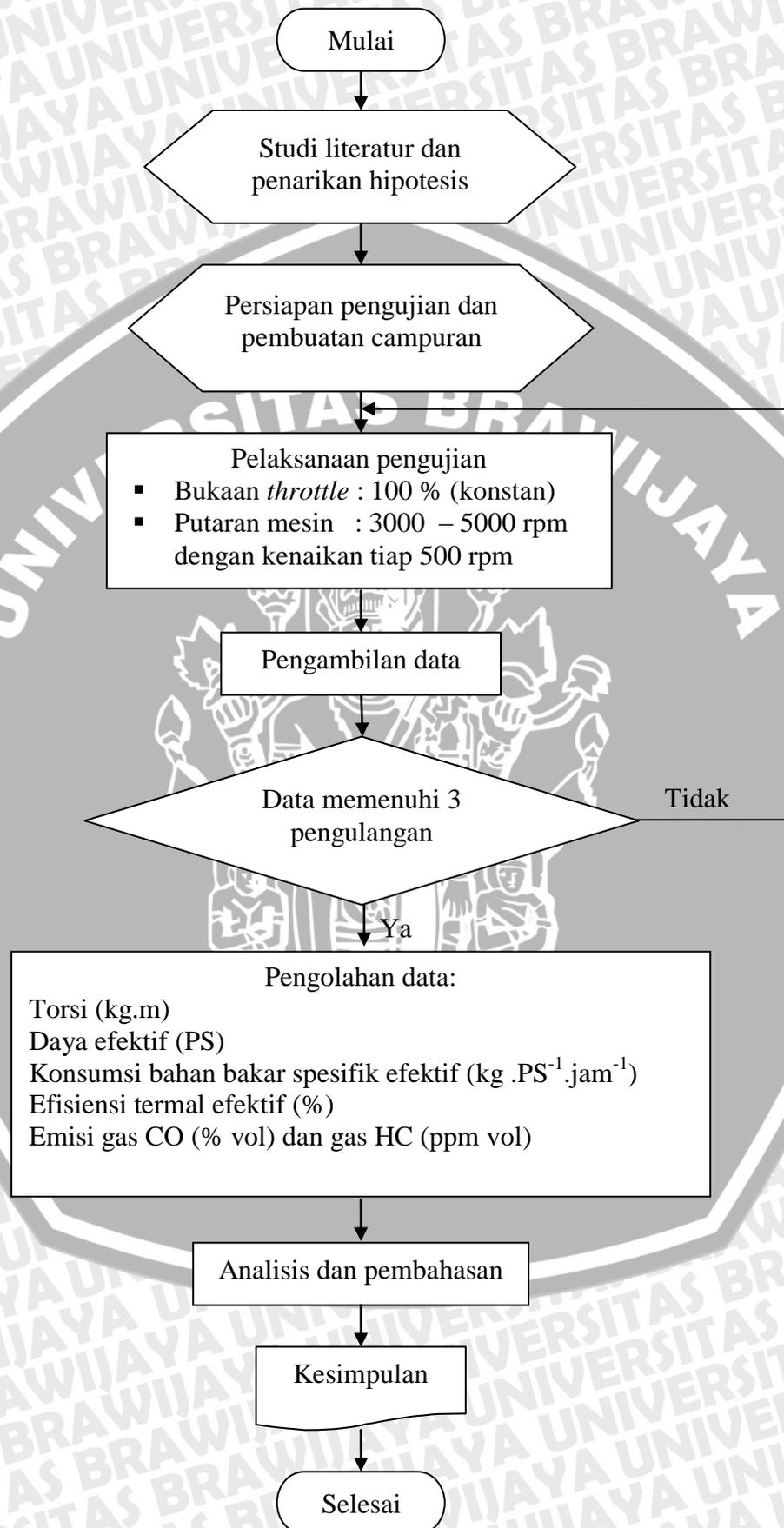
Sumber Varian	JK	Db	KT	F _{hitung}	F _{tabel}
Antar A	JKA	db ₁ = r - 1	KTA	F ₁	
Antar B	JKB	db ₂ = c - 1	KTB	F ₂	
Interaksi AB	JKAB	db ₃ = db ₁ .db ₂	KTAB	F ₃	
Galat	JKG	db ₄ = rc(t - 1)	KTG		
Total	JKT	rc t - 1			

Sumber: Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT. (2006:98)

Kesimpulan yang diperoleh:

1. Bila $FA_{hitung} > FA_{tabel}$, maka H_0^1 ditolak dan H_1^1 diterima, ini menyatakan bahwa variasi putaran mesin berpengaruh terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, efisiensi termal efektif, dan emisi gas CO dan HC.
2. Bila $FB_{hitung} > FB_{tabel}$, maka H_0^2 ditolak dan H_1^2 diterima, ini menyatakan bahwa variasi persentase air berpengaruh terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, efisiensi termal efektif, dan emisi gas CO dan HC.
3. Bila $FAB_{hitung} > FAB_{tabel}$, maka H_0^3 ditolak dan H_1^3 diterima, ini menyatakan bahwa variasi putaran dan persentase air berpengaruh terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, efisiensi termal efektif, dan emisi gas CO dan HC.

3.7 Diagram Alir Penelitian



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Data

4.1.1. Data Hasil Pengujian

Data yang diperoleh selama pengujian adalah sebagai berikut:

1. Pengujian : variasi putaran
2. Bukaannya *throttle* : 100 %
3. Suhu lingkungan : 28 °C
4. Kelembaban relatif : 59 %
5. Tekanan lingkungan : 716 mmHg

Tabel 4.1. Data Hasil Pengujian Motor Otto Berbahan Bakar Bensin

n (rpm)	T (poros <i>discbrake</i>) (kg.m)	Δh (mm)	t (tiap 4 ml bb) (s)	λ	CO (% vol)	HC (ppm vol)
3000	17	136	9,25	0,996	7,952	2203
	18	130	11,23			
	20	132	10			
3500	19	228	8,9	0,935	8,385	1927
	19	212	9,6			
	18	212	9,21			
4000	17	260	8,52	0,921	8,795	1263
	18	270	7,78			
	17	262	8,66			
4500	15	272	7,82	0,861	9,678	952
	17	292	6,61			
	16	274	8,56			
5000	15	358	6,59	0,823	10,192	813
	14	326	6,63			
	14	342	6,72			

Table 4.2. Data Hasil Pengujian Motor Otto Berbahan Bakar Campuran Air 25%

n (rpm)	T (poros <i>discbrake</i>) (kg.m)	Δh (mm)	λ	CO (% vol)	HC (ppm vol)
3000	16	190	1,506	0,576	440
	15,5	198			
	16	190			
3500	15	210	1,446	0,708	258
	15	208			
	15	211			
4000	15	220	1,398	0,382	284
	14,5	206			
	15	204			
4500	13	240	1,361	0,525	171
	13	240			
	13	220			
5000	11,5	270	1,288	0,318	419
	12	270			
	12	270			

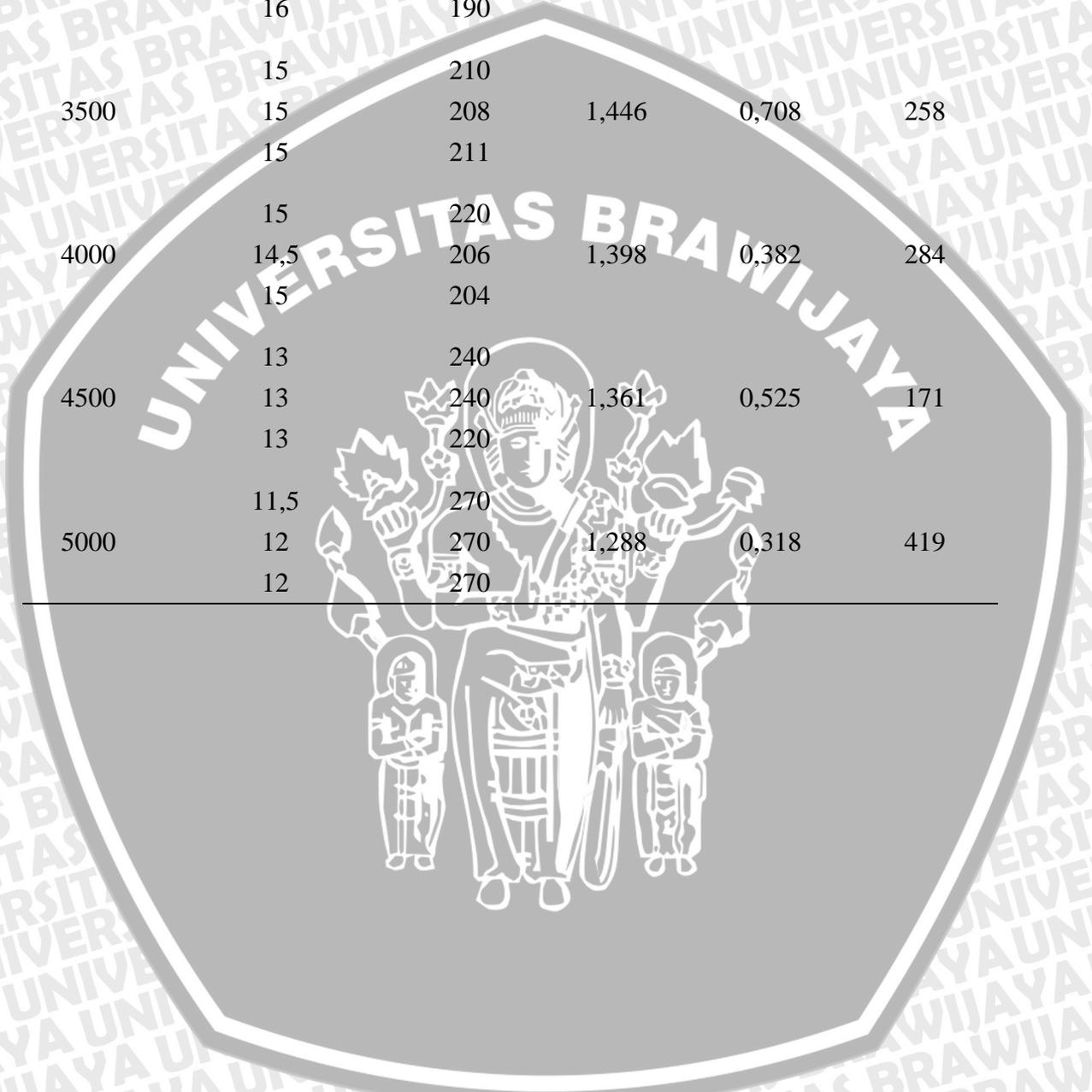


Table 4.3. Data Hasil Pengujian Motor Otto Berbahan Bakar Campuran Air 50%

n (rpm)	T (poros <i>discbrake</i>) (kg.m)	Δh (mm)	λ	CO (% vol)	HC (ppm vol)
3000	14,5	190	1,6	0,468	170
	14,5	192			
	14,5	190			
3500	14	201	1,561	0,068	168
	14	207			
	14,5	207			
4000	14	223	1,414	0,093	172
	15	223			
	14	210			
4500	13	224	1,411	0,34	109
	14	224			
	14	224			
5000	12	288	1,489	0,132	198
	11	255			
	12	272			

Table 4.4. Data Hasil Pengujian Motor Otto Berbahan Bakar Campuran Air 75%

n (rpm)	T (poros <i>discbrake</i>) (kg.m)	Δh (mm)	λ	CO (% vol)	HC (ppm vol)
3000	15	190	1,654	0,049	388
	14	207			
	15	190			
3500	14	223	1,627	0,115	137
	14	207			
	15	223			
4000	13	240	1,626	0,184	233
	15	223			
	13	223			
4500	12,5	224	1,517	0,106	297
	12	255			
	12	224			
5000	11	255	1,425	0,07	278
	10,5	288			
	11	272			

4.1.2. Perhitungan Data

Dari data hasil pengujian dapat dilakukan pengolahan data. Sebagai contoh perhitungan diambil data dari pengujian dengan bahan bakar bensin dan campuran air 25% terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, efisiensi termal efektif dan emisi gas CO dan gas HC pada motor Otto empat langkah. Adapun data yang diambil adalah sebagai berikut:

- Bahan bakar bensin
 - a) Putaran mesin (n) = 3000 rpm
 - b) Torsi (T) = 18,33 kg.m
 - c) Faktor reduksi (i) = 20,9375
 - d) Massa jenis bensin (ρ) = 0,715 kg.liter⁻¹
 - e) Waktu (t) = 10,16 detik
 - f) Volume bahan bakar = 4 ml
 - g) Nilai kalor (LHV) = 10551,2 kkal.kg⁻¹

Dari data tersebut dapat dihitung nilai dari:

1. Torsi (T)

Torsi diukur pada poros *discbrake* belakang sehingga untuk nilai torsi pada poros engkol didapat dengan cara membagi torsi tersebut dengan faktor reduksinya, maka:

$$\begin{aligned} T &= \frac{T_{discbrake}}{i} \quad [\text{kg. m}] \\ &= \frac{18,33 \text{ [kg. m]}}{20,9375} \\ &= 0,88 \text{ kg. m} \end{aligned}$$

2. Daya efektif (Ne)

$$\begin{aligned} Ne &= \frac{T \cdot n}{716,2} \quad [\text{PS}] \\ &= \frac{0,88 \text{ [kg. m]} \times 3000 \text{ [rpm]}}{716,2} \\ &= 3,67 \text{ PS} \end{aligned}$$

3. Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCe)

Konsumsi bahan bakar (F_c) diukur dengan menggunakan tabung ukur dimana bahan bakar dialirkan melalui tabung ukur yang diketahui volumenya dan diukur waktu yang diperlukan untuk menghabiskan bahan bakar sebesar volume tersebut.

$$\begin{aligned} F_c &= \frac{b}{t} \cdot \rho \cdot \frac{3600}{1000} \quad [\text{kg. jam}^{-1}] \\ &= \frac{4 \text{ [ml]}}{10,16 \text{ [s]}} \times 0,715 \text{ [kg. liter}^{-1}] \times \frac{3600}{1000} \\ &= 1,02 \text{ kg. jam}^{-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SFCe &= \frac{F_c}{Ne} \quad [\text{kg. PS}^{-1} \cdot \text{jam}^{-1}] \\ &= \frac{1,02 \text{ [kg. jam}^{-1}]}{3,67 \text{ [PS]}} \\ &= 0,278 \text{ kg. PS}^{-1} \cdot \text{jam}^{-1} \end{aligned}$$

4. Efisiensi termal efektif (η_{te})

$$\begin{aligned} \eta_{te} &= \frac{Q_e}{Q_b} = \frac{632 \cdot Ne}{F_c \cdot LHV_{bb}} \times 100 = \frac{632}{SFCe \cdot LHV_{bb}} \times 100 \quad [\%] \\ &= \frac{632}{0,278 \text{ [kg. PS}^{-1} \cdot \text{jam}^{-1}] \times 10551,2 \text{ [kkal. kg}^{-1}]} \times 100 \\ &= 21,5421 \quad \% \end{aligned}$$

- Bahan bakar campuran air 25%
 - a) Putaran mesin (n) = 3000 rpm
 - b) Torsi (T) = 15,83 kg.m
 - c) Faktor reduksi (i) = 20,9375
 - d) Diameter *orifice* udara (D_1) = 27 mm
 - e) Diameter pelat (D_2) = 13,5 mm
 - f) Beda ketinggian manometer (Δh) = 192,67 mm kerosin
 - g) *Coefficient discharge* = 0,528
 - h) Massa jenis kerosin = 835 kg.m⁻³
 - i) Nilai kalor bb campuran (LHV) = 10402,87 kkal.kg⁻¹
 - j) Lambda (λ) = 1,506

Dari data tersebut dapat dihitung nilai dari:

1. Torsi (T)

Torsi diukur pada poros *discbrake* belakang sehingga untuk nilai torsi pada poros engkol didapat dengan cara membagi torsi tersebut dengan faktor reduksinya, maka:

$$T = \frac{T_{discbrake}}{i} \quad [\text{kg.m}]$$

$$= \frac{15,83 \text{ [kg.m]}}{20,9375}$$

$$= 0,76 \text{ kg.m}$$

2. Daya efektif (N_e)

$$N_e = \frac{T \cdot n}{716,2} \quad [\text{PS}]$$

$$= \frac{0,76 \text{ [kg.m]} \times 3000 \text{ [rpm]}}{716,2}$$

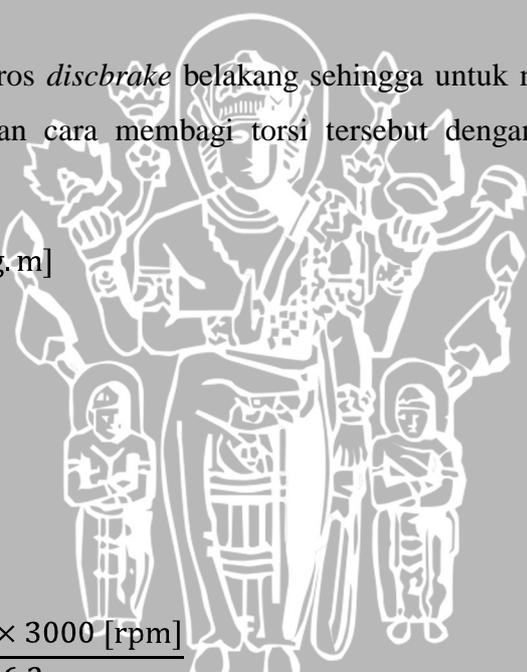
$$= 3,17 \text{ PS}$$

3. Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCe)

$$SFCe = \frac{F_c}{N_e}$$

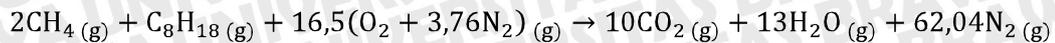
Konsumsi bahan bakar dihitung dari rasio udara dan bahan bakar. Dengan mengetahui besarnya lambda (λ) dapat diketahui AFR aktual dari motor Otto tersebut, maka:

$$F_c = \frac{\text{Konsumsi udara } (\dot{m})}{AFR_{\text{aktual}}}$$



$$AFR_{aktual} = \lambda \times AFR_{teoritis}$$

$AFR_{teoritis}$ dapat dihitung dari persamaan proses pembakaran stoikiometri, yaitu:



$$\begin{aligned} AFR_{stoik} &= \left(\frac{m_{udara}}{m_{bb}} \right)_{stoikiometri} \\ &= \left(\frac{16,5 \times \{2(16) + 3,76 \times 2(14)\}}{2 \times \{12 + 4(1)\} + 8(12) + 18(1)} \right) \\ &= 15,5145 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} AFR_{aktual} &= 1,506 \times 15,5145 \\ &= 23,36 \end{aligned}$$

Massa alir udara dicari dengan mengaplikasikan persamaan kontinuitas dan persamaan Bernouli:

$$\dot{m} = \frac{C_d \times A_t}{\sqrt{1 - \beta^4}} \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta p}$$

$$D_1 = 27 \text{ mm} = 0,027 \text{ m}$$

$$D_2 = 13,5 \text{ mm} = 0,0135 \text{ m}$$

$$C_d = 0,528$$

$$A_t = \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} = \frac{\pi \times (0,0135 \text{ [m]})^2}{4} = 0,0001432 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\beta = \frac{D_2}{D_1} = \frac{0,027 \text{ [m]}}{0,0135 \text{ [m]}} = 0,5$$

$$\begin{aligned} \Delta p &= \rho \cdot g \cdot h = 835 \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-3}\text{]} \times 9,81 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-2}\text{]} \times 0,19267 \text{ [m]} \\ &= 1578,22 \text{ Pa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \frac{0,528 \times 0,0001432 \text{ [m}^2\text{]}}{\sqrt{1 - (0,5)^4}} \sqrt{2 \times 1,095 \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-3}\text{]} \times 1578,22 \text{ [Pa]}} \\ &= 0,0045938 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

$$F_c = \frac{0,0045938 \text{ [kg} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}}{23,36}$$

$$= 0,0001967 \text{ [kg} \cdot \text{s}^{-1}\text{]} = 0,7077 \text{ kg} \cdot \text{jam}^{-1}$$

$$SFCE = \frac{0,7077 \text{ [kg} \cdot \text{jam}^{-1}\text{]}}{3,17 \text{ [PS]}}$$

$$= 0,708 \text{ kg} \cdot \text{PS}^{-1} \cdot \text{jam}^{-1}$$

4. Efisiensi termal efektif (η_e)

$$\eta_{te} = \frac{Q_e}{Q_b} = \frac{632 \cdot N_e}{F_c \cdot LHV_{bb}} \times 100 = \frac{632}{SFCE \cdot LHV_{bb}} \times 100 \text{ [%]}$$

$$= \frac{632}{0,708 [\text{kg} \cdot \text{PS}^{-1} \cdot \text{jam}^{-1}] \times 10402,87 [\text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1}]} \times 100$$

$$= 27,19 \%$$

4.1.3. Analisis Varian

Hasil pengolahan data pengujian motor otto empat langkah kemudian dilakukan analisis statistik dengan menggunakan analisis varian dua arah. Dengan analisis varian dua arah ini akan diketahui ada tidaknya pengaruh variasi putaran, variasi bahan bakar campuran bensin – air dan interaksi keduanya terhadap unjuk kerja motor otto empat langkah yang meliputi torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, efisiensi termal efektif, serta emisi gas CO dan emisi gas HC.

Adapun hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut:

- I. $H_0^1 : \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_i = 0$ (tidak ada pengaruh variasi putaran mesin terhadap unjuk kerja dan emisi gas buang motor otto empat langkah).

H_1^1 : paling sedikit satu $\alpha_i \neq 0$ (ada pengaruh variasi putaran mesin terhadap unjuk kerja dan emisi gas buang motor otto empat langkah).

- II. $H_0^2 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_j = 0$ (tidak ada pengaruh variasi persentase air pada bensin terhadap unjuk kerja dan emisi gas buang motor otto empat langkah).

H_1^2 : paling sedikit satu $\beta_j \neq 0$ (ada pengaruh variasi persentase air pada bensin terhadap unjuk kerja dan emisi gas buang motor otto empat langkah).

- III. $H_0^3 : (\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = \dots = (\alpha\beta)_{ij} = 0$ (tidak ada pengaruh variasi putaran mesin dan variasi persentase air pada bensin terhadap unjuk kerja dan emisi gas buang motor otto empat langkah).

H_1^3 : paling sedikit satu $(\alpha\beta) \neq 0$ (ada pengaruh variasi putaran mesin dan variasi persentase air pada bensin terhadap unjuk kerja dan emisi gas buang motor otto empat langkah).

4.1.3.1. Analisis Statistik untuk Torsi yang Dihasilkan

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi putaran, penggunaan bahan bakar campuran bensin-air dan interaksi antara keduanya terhadap torsi yang dihasilkan motor otto empat langkah. Dari perhitungan statistik didapatkan tabel sebagai berikut:

Tabel 4.5. Analisis Varian Dua Arah untuk Torsi

Sumber Varian	JK	db	KT	F_{hitung}	F_{tabel}
Putaran (A)	0,170401	4	0,04260	80,0357	2,69
Variasi Campuran (B)	0,016044	2	0,00802	15,0714	3,32
Interaksi A dan B	0,010189	8	0,00127	2,3929	2,27
Galat	0,015968	30	0,00053		
Total	0,212601	44			

Dari tabel 4.5 dapat diketahui bahwa masing-masing $F_{hitung} > F_{tabel}$ yang menyatakan bahwa H_0^1, H_0^2, H_0^3 ditolak dan H_1^1, H_1^2, H_1^3 diterima. Hal ini berarti bahwa variasi putaran, penggunaan bahan bakar campuran bensin-air dan interaksi antara variasi putaran dan penggunaan bahan bakar campuran bensin-air mempunyai pengaruh yang nyata dan berbeda terhadap torsi yang dihasilkan motor Otto empat langkah dengan tingkat keyakinan 95%.

4.1.3.2. Analisis Statistik untuk Daya Efektif yang Dihasilkan

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi putaran, penggunaan bahan bakar campuran bensin-air dan interaksi antara keduanya terhadap daya efektif yang dihasilkan motor otto empat langkah. Dari perhitungan statistik didapatkan tabel sebagai berikut:

Tabel 4.6. Analisis Varian Dua Arah untuk Daya Efektif

Sumber Varian	JK	db	KT	F_{hitung}	F_{tabel}
Putaran (A)	5,168391	4	1,29210	75,4119	2,69
Variasi Campuran (B)	0,509087	2	0,25454	14,8562	3,32
Interaksi A dan B	0,324135	8	0,04052	2,3647	2,27
Galat	0,514016	30	0,01713		
Total	6,515630	44			

Dari tabel 4.6 dapat diketahui bahwa masing-masing $F_{hitung} > F_{tabel}$ yang menyatakan bahwa H_0^1, H_0^2, H_0^3 ditolak dan H_1^1, H_1^2, H_1^3 diterima. Hal ini berarti bahwa variasi putaran, penggunaan bahan bakar campuran bensin-air dan interaksi antara variasi putaran dan penggunaan bahan bakar campuran bensin-air mempunyai pengaruh yang nyata dan berbeda terhadap daya efektif yang dihasilkan motor Otto empat langkah dengan tingkat keyakinan 95%.

4.1.3.3. Analisis Statistik untuk *Specific Fuel Consumption Effective* yang Dihasilkan

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi putaran, penggunaan bahan bakar campuran bensin-air dan interaksi antara keduanya terhadap *Specific Fuel Consumption Effective* yang dihasilkan motor otto empat langkah. Dari perhitungan statistik didapatkan tabel sebagai berikut:

Tabel 4.7. Analisis Varian Dua Arah untuk *Specific Fuel Consumption Effective*

Sumber Varian	JK	db	KT	F_{hitung}	F_{tabel}
Putaran (A)	0,006619	4	0,00165	20,2517	2,69
Variasi Campuran (B)	0,000608	2	0,00030	3,7184	3,32
Interaksi A dan B	0,002323	8	0,00029	3,5541	2,27
Galat	0,002451	30	0,00008		
Total	0,012002	44			

Dari tabel 4.7 dapat diketahui bahwa masing-masing $F_{hitung} > F_{tabel}$ yang menyatakan bahwa H_0^1, H_0^2, H_0^3 ditolak dan H_1^1, H_1^2, H_1^3 diterima. Hal ini berarti bahwa variasi putaran, penggunaan bahan bakar campuran bensin-air dan interaksi antara variasi putaran dan penggunaan bahan bakar campuran bensin-air mempunyai pengaruh yang nyata dan berbeda terhadap *Specific Fuel Consumption Effective* yang dihasilkan motor Otto empat langkah dengan tingkat keyakinan 95%.

4.1.3.4. Analisis Statistik untuk Efisiensi Termal Efektif yang Dihasilkan

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi putaran, penggunaan bahan bakar campuran bensin-air dan interaksi antara keduanya terhadap efisiensi termal efektif yang dihasilkan motor otto empat langkah. Dari perhitungan statistik didapatkan tabel sebagai berikut:

Tabel 4.8. Analisis Varian Dua Arah untuk Efisiensi Termal efektif

Sumber Varian	JK	db	KT	F_{hitung}	F_{tabel}
Putaran (A)	108,463	4	27,11564	16,7643	2,69
Variasi Campuran (B)	33,254	2	16,6268	10,2795	3,32
Interaksi A dan B	39,058	8	4,88226	3,0185	2,27
Galat	48,524	30	1,61746		
Total	229,298	44			

Dari tabel 4.8 dapat diketahui bahwa masing-masing $F_{hitung} > F_{tabel}$ yang menyatakan bahwa H_0^1, H_0^2, H_0^3 ditolak dan H_1^1, H_1^2, H_1^3 diterima. Hal ini berarti bahwa variasi putaran, penggunaan bahan bakar campuran bensin-air dan interaksi antara variasi putaran dan penggunaan bahan bakar campuran bensin-air mempunyai pengaruh yang nyata dan berbeda terhadap efisiensi termal efektif yang dihasilkan motor Otto empat langkah dengan tingkat keyakinan 95%.

4.1.3.5. Analisis Statistik untuk Emisi Gas CO yang Dihasilkan

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi putaran, penggunaan bahan bakar campuran bensin-air dan interaksi antara keduanya terhadap emisi gas CO yang dihasilkan motor otto empat langkah. Dari perhitungan statistik didapatkan tabel sebagai berikut:

Tabel 4.9. Analisis Varian Dua Arah untuk Emisi Gas CO

Sumber Varian	JK	db	KT	F_{hitung}	F_{tabel}
Putaran (A)	0,072687	4	0,01817	0,9225	3,84
Variasi Campuran (B)	0,417041	2	0,20852	10,5852	4,46
Galat	0,157593	8	0,01970		
Total	0,647322	14			

Dari tabel 4.9 dapat diketahui bahwa $F_{A hitung} < F_{A tabel}$. Hal ini berarti bahwa H_0^1 diterima dan H_1^1 ditolak yang menyatakan bahwa variasi putaran tidak berpengaruh terhadap emisi gas CO. Sedangkan $F_{B hitung} > F_{B tabel}$, maka H_0^2 ditolak dan H_1^2 diterima yang berarti bahwa penggunaan bahan bakar campuran bensin-air mempunyai pengaruh yang nyata dan berbeda terhadap emisi gas CO yang dihasilkan motor Otto empat langkah dengan tingkat keyakinan 95%.

4.1.3.6. Analisis Statistik untuk Emisi Gas HC yang Dihasilkan

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi putaran, penggunaan bahan bakar campuran bensin-air dan interaksi antara keduanya terhadap emisi gas HC yang dihasilkan motor otto empat langkah. Dari perhitungan statistik didapatkan tabel sebagai berikut:

Tabel 4.10. Analisis Varian Dua Arah untuk Emisi Gas HC

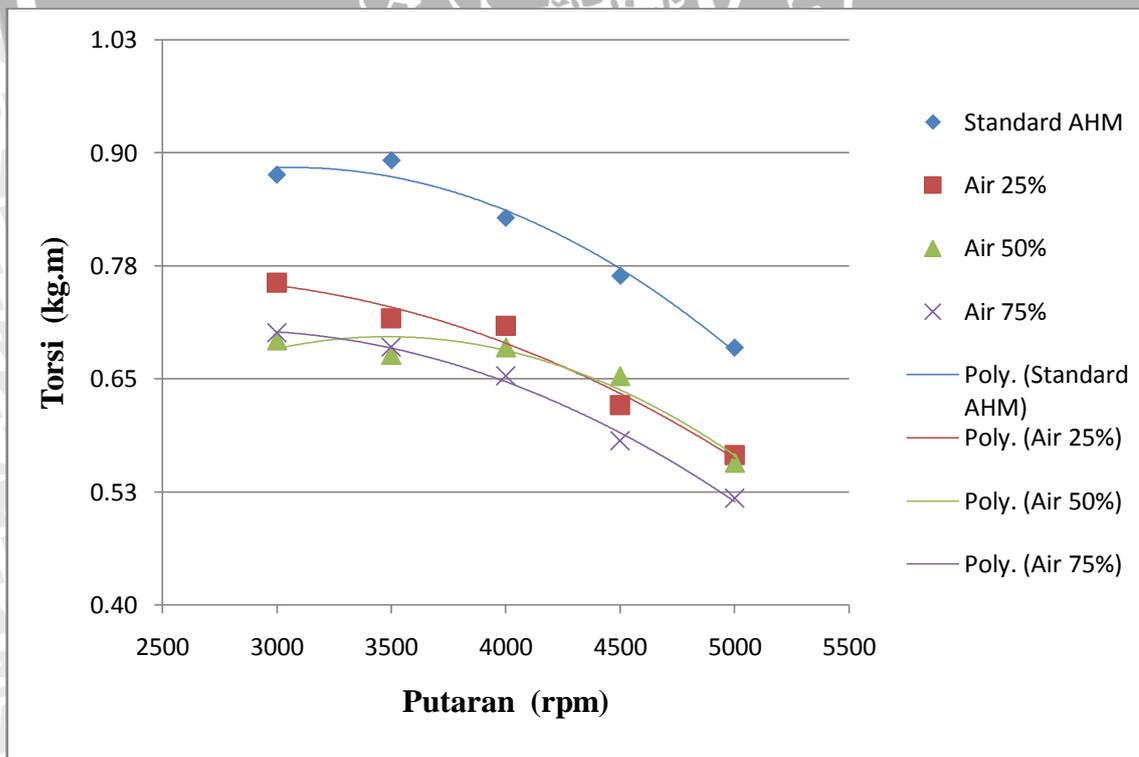
Sumber Varian	JK	db	KT	F _{hitung}	F _{tabel}
Putaran (A)	50330,40	4	12582,600	2,58	3,84
Variasi Campuran (B)	59560,13	2	29780,067	6,10	4,46
Galat	39067,20	8	4883,400		
Total	148957,73	14			

Dari tabel 4.10 dapat diketahui bahwa $F_{A \text{ hitung}} < F_{A \text{ tabel}}$. Hal ini berarti bahwa H_0^1 diterima dan H_1^1 ditolak yang menyatakan bahwa variasi putaran tidak berpengaruh terhadap emisi gas HC. Sedangkan $F_{B \text{ hitung}} > F_{B \text{ tabel}}$, maka H_0^2 ditolak dan H_1^2 diterima yang berarti bahwa penggunaan bahan bakar campuran bensin-air mempunyai pengaruh yang nyata dan berbeda terhadap emisi gas HC yang dihasilkan motor Otto empat langkah dengan tingkat keyakinan 95%.

4.2. Pembahasan

4.2.1. Hubungan antara Putaran dengan Torsi

Hubungan antara putaran dengan torsi pada pemakaian variasi campuran bahan bakar bensin-air dengan persentase air 25%, 50%, dan 75% dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut:



Gambar 4.1. Grafik Hubungan antara Putaran dengan Torsi.

Pada gambar 4.1 dapat dilihat bahwa dengan bertambahnya putaran maka torsi yang terjadi semakin kecil. Hal ini dikarenakan pada putaran yang semakin tinggi, beban pengereman yang diberikan semakin kecil sehingga torsi yang dihasilkan akan semakin kecil. Torsi berbanding lurus dengan gaya pengereman (F), sesuai dengan persamaan berikut:

$$T = F \cdot L$$

dengan:

T = torsi (kg.m)

F = gaya pengereman (kg)

L = panjang lengan (m)

Selain hal tersebut diatas, penyebab turunnya torsi adalah karena pada putaran yang semakin tinggi gesekan antara torak dan dinding silinder semakin banyak pula yang menyebabkan kerugian mekanis akibat gesekan semakin besar. Pada putaran tinggi gerakan buka tutup katup hisap juga semakin cepat, hal ini menyebabkan massa campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke dalam ruang silinder semakin kecil, tekanan akhir kompresi dan tekanan gas hasil pembakaran bahan bakar akan menjadi kecil yang menyebabkan gaya dorong pada torak menjadi kecil juga sehingga torsi yang dihasilkan akan menjadi kecil. Gaya inersia juga mempengaruhi gerak naik turun torak. Gaya inersia berbanding lurus dengan percepatan. Semakin tinggi putaran, maka percepatan gerak torak akan semakin tinggi yang menyebabkan gaya inersia torak semakin besar. Karena gaya inersia bekerja berlawanan arah dengan arah percepatan torak, maka gaya inersia akan menghambat gerak torak sehingga menurunkan torsi yang dihasilkan.

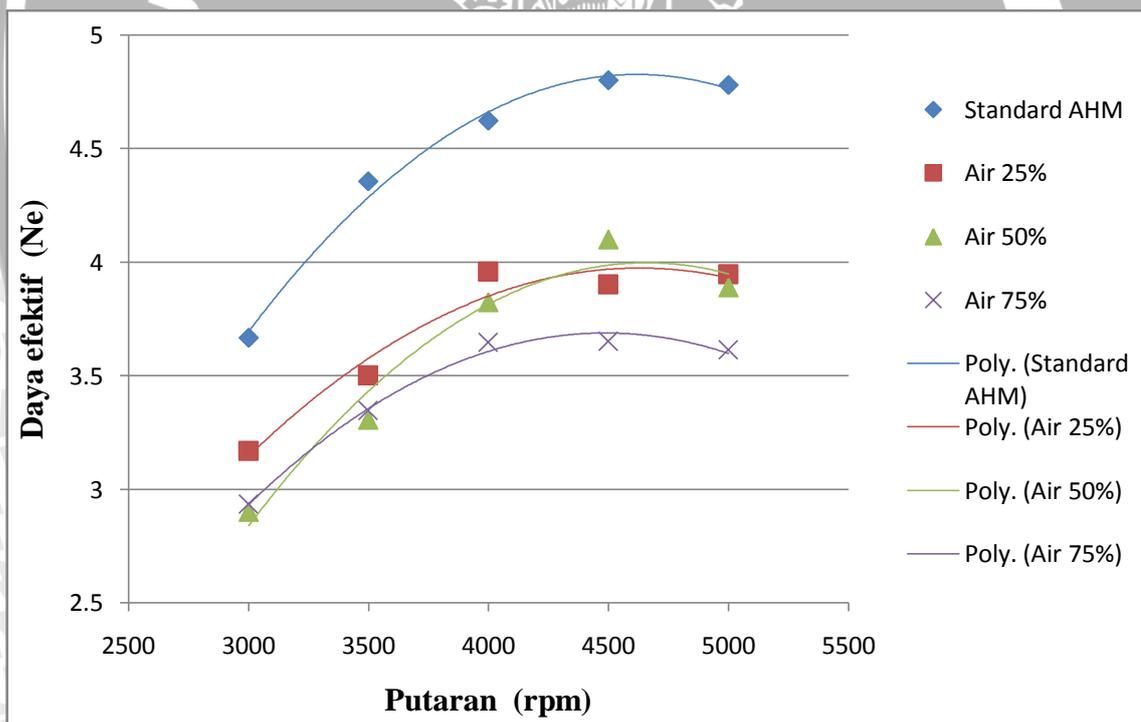
Pada pengujian motor otto standard dihasilkan torsi yang paling tinggi karena bahan bakar yang digunakan adalah bensin yang memiliki nilai kalor bahan bakar yang lebih tinggi daripada nilai kalor bahan bakar campuran bensin-air. Pada pengujian motor otto dengan variasi campuran bensin-air, diperoleh torsi yang paling besar pada persentase air 25% kemudian berturut turut menurun pada campuran air 50% dan 75%. Pada persentase air 25% memiliki komposisi bensin yang paling banyak menyebabkan nilai kalor dari bahan bakar yang dikonsumsi juga lebih besar. Pada saat pembakaran akan menghasilkan gaya dorong torak yang besar pula sehingga torsi yang dihasilkan lebih besar. Pada persentase air 50% dan 75% memiliki nilai kalor yang lebih rendah

sehingga pada saat pembakaran, gaya dorong torak yang dihasilkan lebih rendah, akibatnya torsi yang dihasilkan lebih rendah pula. Selain itu juga, semakin banyak uap air yang ikut masuk ke dalam silinder menyebabkan semakin sulit bahan bakar tersebut terbakar sehingga torsi yang dihasilkan semakin menurun.

Torsi yang optimal dihasilkan oleh bahan bakar campuran bensin-air dengan persentase air 25% yaitu nilai paling besar pada putaran 3000 rpm sebesar 0,76 kg.m dan paling rendah pada putaran 5000 rpm sebesar 0,57 kg.m. Sedangkan torsi yang dihasilkan bahan bakar lain mempunyai nilai lebih rendah daripada bahan bakar dengan persentase air 25%.

4.2.2. Hubungan antara Putaran dengan Daya Efektif

Hubungan antara putaran dengan daya efektif pada pemakaian variasi campuran bahan bakar bensin-air dengan persentase air 25%, 50%, dan 75% dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut:



Gambar 4.2. Grafik Hubungan antara Putaran dengan Daya Efektif.

Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa semakin tinggi putaran maka daya efektif yang dihasilkan semakin tinggi pada putaran awal sampai pada putaran tertentu, tetapi setelah mencapai titik maksimum, daya efektif mengalami penurunan seiring dengan naiknya putaran. Hal ini terjadi karena daya efektif berbanding lurus dengan torsi (T) yang dihasilkan dan putaran poros mesin (n) sesuai dengan persamaan berikut:

$$Ne = \frac{T \cdot n}{716,2}$$

dengan:

Ne = daya efektif (PS)

T = torsi (kg.m)

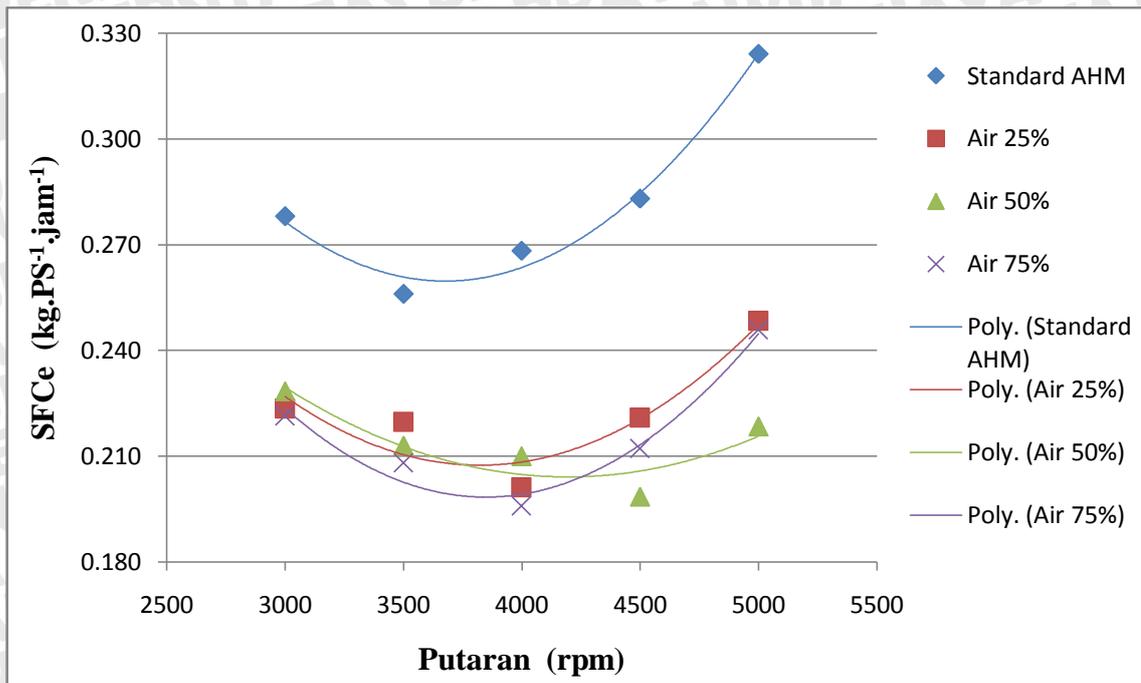
n = putaran poros (rpm)

Pada putaran yang semakin tinggi, daya efektif yang dihasilkan semakin besar karena mengalami penambahan putaran sampai pada titik maksimum, kemudian daya efektif mengalami penurunan seiring bertambahnya putaran disebabkan kenaikan putaran tidak dapat mengimbangi penurunan torsi sehingga daya efektif yang dihasilkan akan semakin menurun. Penurunan daya efektif juga disebabkan karena semakin besar kerugian yang terjadi seperti gesekan dan kehilangan panas.

Pada pengujian motor otto dengan variasi campuran bensin-air, diperoleh daya efektif yang paling besar pada persentase air 25% kemudian berturut turut menurun pada campuran air 50% dan 75%. Hal ini disebabkan karena pada persentase air 25% menghasilkan torsi yang paling besar sehingga daya yang dihasilkan paling besar pula. Sedangkan daya efektif pada persentase air 50% dan 75% lebih rendah karena torsi yang dihasilkan juga lebih rendah. Persentase air yang lebih banyak menyebabkan nilai kalor bahan bakar semakin rendah. Hal ini dapat menurunkan daya efektif yang dihasilkan poros engkol walaupun dengan penambahan air dapat meningkatkan tekanan pada ruang silinder saat langkah kompresi. Menurunnya daya efektif juga dikarenakan bahan bakar yang lebih banyak mengandung air jika dibakar dalam ruang silinder akan menghasilkan tekanan gas hasil pembakaran lebih rendah sehingga tenaga yang dihasilkan akan lebih rendah. Daya efektif yang optimal dihasilkan oleh bahan bakar campuran bensin-air dengan persentase air 50% nilai paling besar pada putaran 4500 rpm sebesar 4,1 PS dan paling rendah pada putaran 3000 rpm sebesar 2,9 PS.

4.2.3. Hubungan antara Putaran dengan SFCE

Hubungan antara putaran dengan SFCE pada pemakaian variasi campuran bahan bakar bensin-air dengan persentase air 25%, 50%, dan 75% dapat dilihat pada gambar 4.3 berikut:



Gambar 4.3. Grafik Hubungan antara Putaran dengan SFCE.

Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCE) adalah banyaknya bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan daya efektif tiap jamnya sehingga konsumsi bahan bakar spesifik efektif ini dapat digunakan untuk mengukur tingkat keekonomisan dari mesin, semakin rendah nilai SFCE maka mesin tersebut semakin ekonomis.

Pada gambar 4.3 dapat dilihat bahwa semakin tinggi putaran, maka SFCE akan semakin menurun sampai pada putaran tertentu kemudian SFCE akan mengalami kenaikan jika putaran dinaikkan lagi. Hal ini terjadi karena semakin tinggi putaran, konsumsi bahan bakar akan semakin tinggi dan daya efektif juga meningkat kemudian daya efektif mengalami penurunan, maka SFCE akan mengalami kenaikan. Konsumsi bahan bakar spesifik efektif berbanding lurus dengan konsumsi bahan bakar (F_c) dan berbanding terbalik dengan daya efektif (N_e), sesuai dengan persamaan berikut:

$$SFCE = \frac{F_c}{N_e}$$

dengan:

$SFCE$ = Specific Fuel Consumption Effective (kg.PS⁻¹.jam⁻¹)

F_c = Fuel Consumption (kg.jam⁻¹)

N_e = Daya efektif (PS)

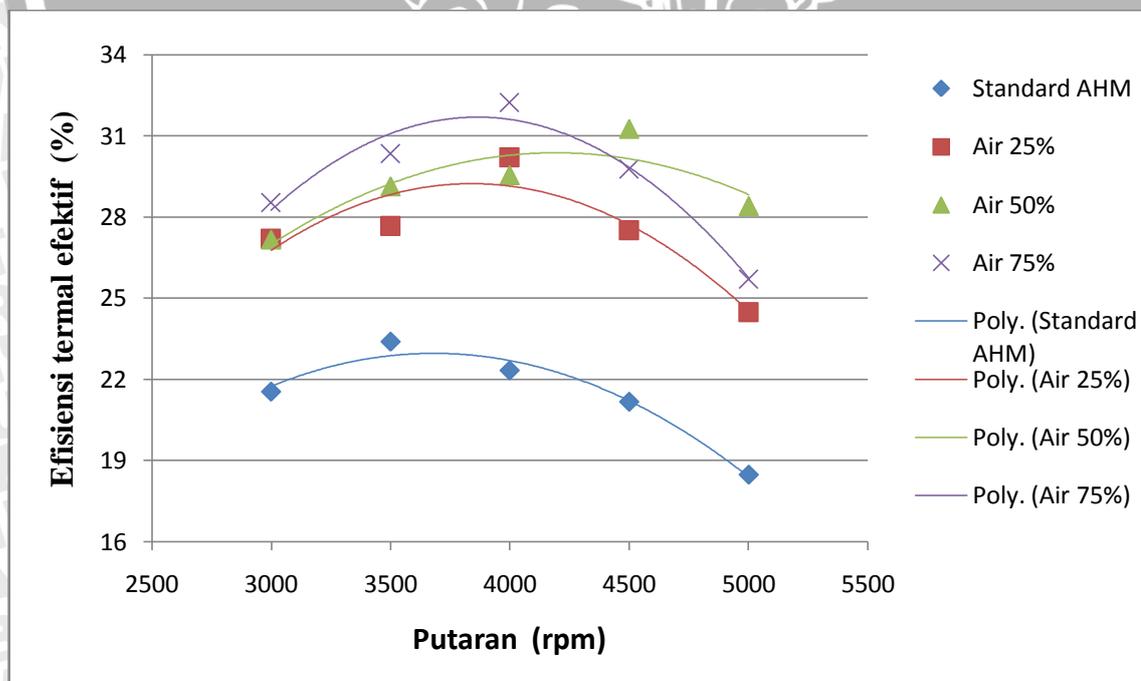
Pada putaran yang rendah, mesin membutuhkan tenaga yang lebih besar untuk menggerakkan mekanisme mesin sehingga membutuhkan konsumsi bahan bakar yang

tinggi pula. Jika putaran dinaikkan, maka putaran mesin akan dibantu oleh mekanisme itu sendiri seperti *flywheel* sehingga konsumsi bahan bakar menurun. Akan tetapi jika putaran dinaikkan lagi, konsumsi bahan bakar akan semakin meningkat dikarenakan kerugian seperti gesekan semakin meningkat sehingga menambah beban mesin.

Pada pengujian motor otto dengan variasi campuran bensin-air, diperoleh SFCE yang paling rendah pada campuran air 75%. Hal ini dikarenakan pada campuran 75% menghasilkan gas metan dan uap air yang lebih banyak. Dengan uap air yang lebih banyak, ruang silinder akan terisi uap air dan gas metan lebih banyak yang dapat menggantikan bahan bakar sehingga konsumsi bahan bakar lebih rendah. Sedangkan pada campuran air 25% dan 50% konsumsi bahan bakarnya lebih tinggi daripada campuran air 75% karena menghasilkan gas metan dan uap air yang lebih rendah. Konsumsi bahan bakar spesifik efektif yang rendah dihasilkan oleh bahan bakar campuran bensin-air dengan persentase air 75% pada putaran 4000 rpm yaitu sebesar $0,196 \text{ kg.PS}^{-1}.\text{jam}^{-1}$.

4.2.4. Hubungan antara Putaran dengan Efisiensi Termal Efektif

Hubungan antara putaran dengan efisiensi termal efektif pada pemakaian variasi campuran bahan bakar bensin-air dengan persentase air 25%, 50%, dan 75% dapat dilihat pada gambar 4.4 berikut:



Gambar 4.4. Grafik Hubungan antara Putaran dengan Efisiensi Termal Efektif.

Pada gambar 4.4 dapat dilihat bahwa semakin tinggi putaran maka efisiensi termal efektif akan mengalami kenaikan sampai pada putaran tertentu kemudian mengalami penurunan. Hal ini disebabkan nilai efisiensi termal efektif berbanding terbalik dengan nilai konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFC_e) dan nilai kalor bahan bakar (LHV_{bb}), seperti pada persamaan berikut:

$$\eta_{te} = \frac{632}{SFC_e \times LHV_{bb}} \times 100$$

dengan:

η_{te} = efisiensi termal efektif (%)

SFC_e = *Specific Fuel Consumption Effective* (kg.PS⁻¹.jam⁻¹)

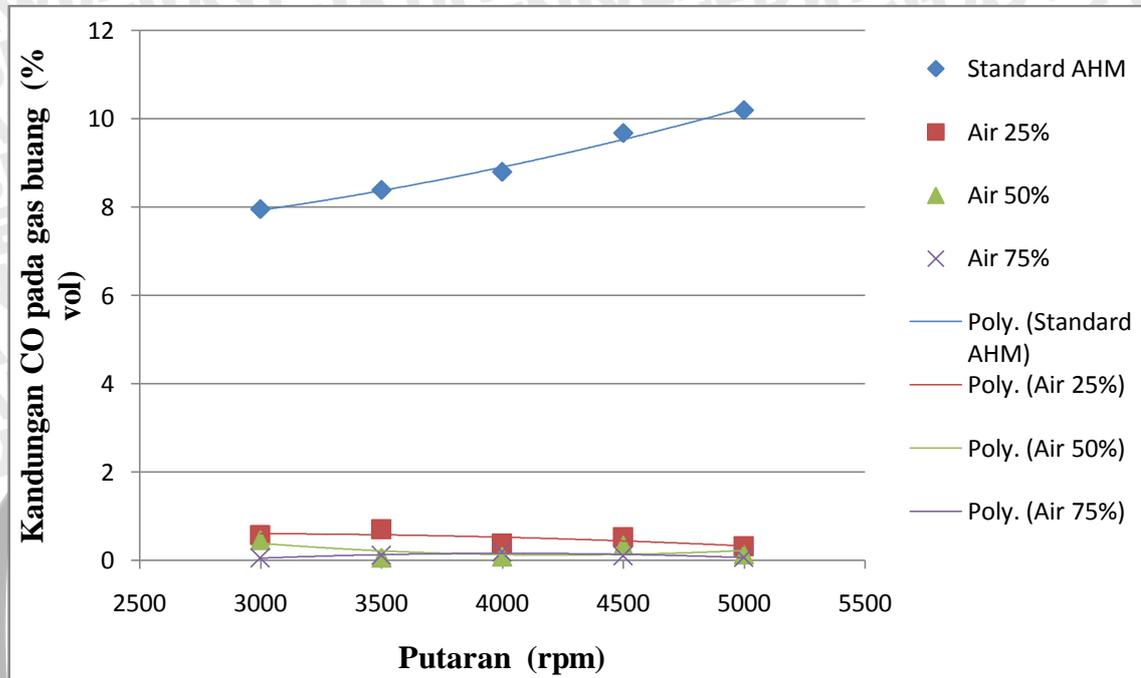
LHV_{bb} = nilai kalor bahan bakar (kkal.kg⁻¹)

Semakin tinggi putaran maka nilai efisiensi termal efektifnya akan semakin tinggi kemudian mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi putaran konsumsi bahan bakar spesifik efektif semakin kecil sehingga efisiensi termal efektif mengalami kenaikan. Jika putaran dinaikkan lagi, maka efisiensi termal akan mengalami penurunan karena konsumsi bahan bakar spesifik efektif yang meningkat pula. Selain itu karena kerugian mekanis yang ditimbulkan oleh gesekan torak dan dinding torak semakin tinggi yang menyebabkan daya efektif yang dihasilkan juga semakin turun. Semakin tinggi putaran campuran bahan bakar yang masuk ke dalam ruang silinder semakin kecil yang disebabkan mekanisme buka tutup katup masuk yang semakin cepat sehingga kalor yang dihasilkan pada proses pembakaran semakin kecil dan daya efektif juga semakin kecil pula sehingga efisiensi termal semakin menurun.

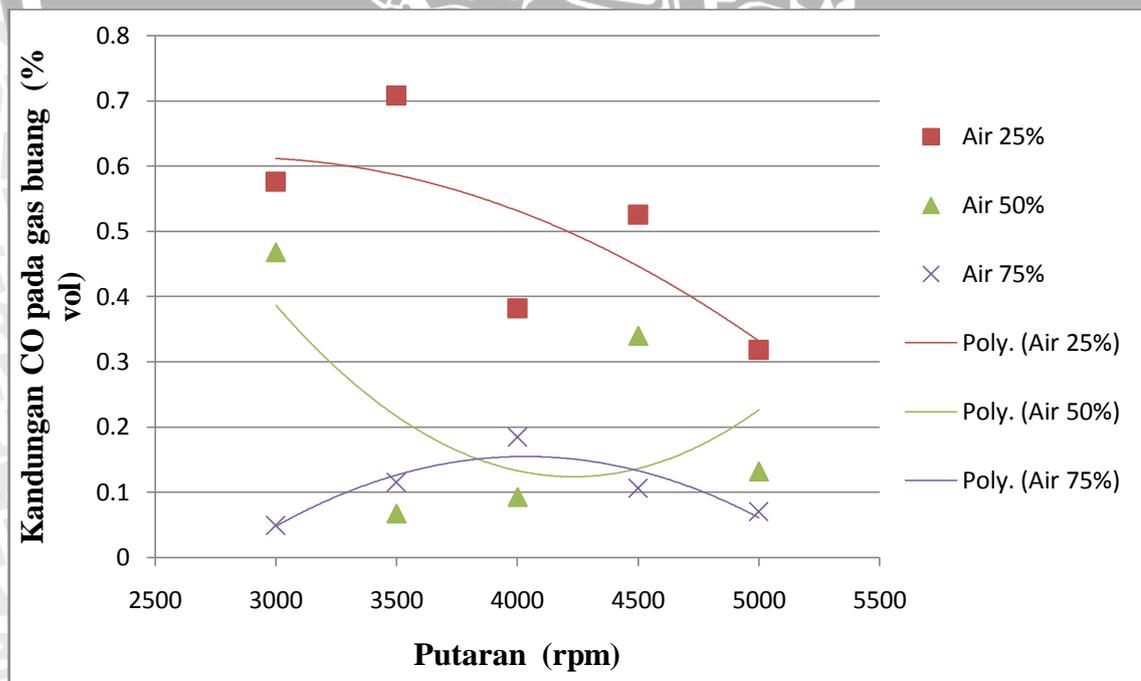
Pada pengujian motor otto dengan variasi campuran bensin-air, diperoleh efisiensi termal yang paling tinggi pada campuran air 75% karena memiliki nilai kalor bahan bakar yang lebih rendah sebesar 10008,91 kkal.kg⁻¹. Dengan nilai kalor bahan bakar yang lebih rendah, tetapi dapat menghasilkan torsi dan daya sedikit lebih rendah daripada motor standard, akan menghasilkan efisiensi termal yang tinggi. Selain hal itu, disebabkan karena uap air yang lebih banyak dapat meningkatkan perbandingan kompresi yang dapat meningkatkan efisiensi termal efektif. Pada campuran air 25% dan 50% memiliki nilai kalor bahan bakar yang lebih tinggi sehingga pada saat dibakar menghasilkan efisiensi yang lebih rendah. Efisiensi termal yang paling tinggi dihasilkan oleh bahan bakar campuran bensin-air dengan persentase air 75% pada putaran 4000 rpm sebesar 32,24%.

4.2.5. Hubungan antara Putaran dengan Emisi Gas CO

Hubungan antara putaran dengan emisi gas CO pada pemakaian variasi campuran bahan bakar bensin-air dengan persentase air 25%, 50%, dan 75% dapat dilihat pada gambar 4.5 dan gambar 4.6 berikut:



Gambar 4.5. Grafik Hubungan antara Putaran dengan Emisi Gas CO.



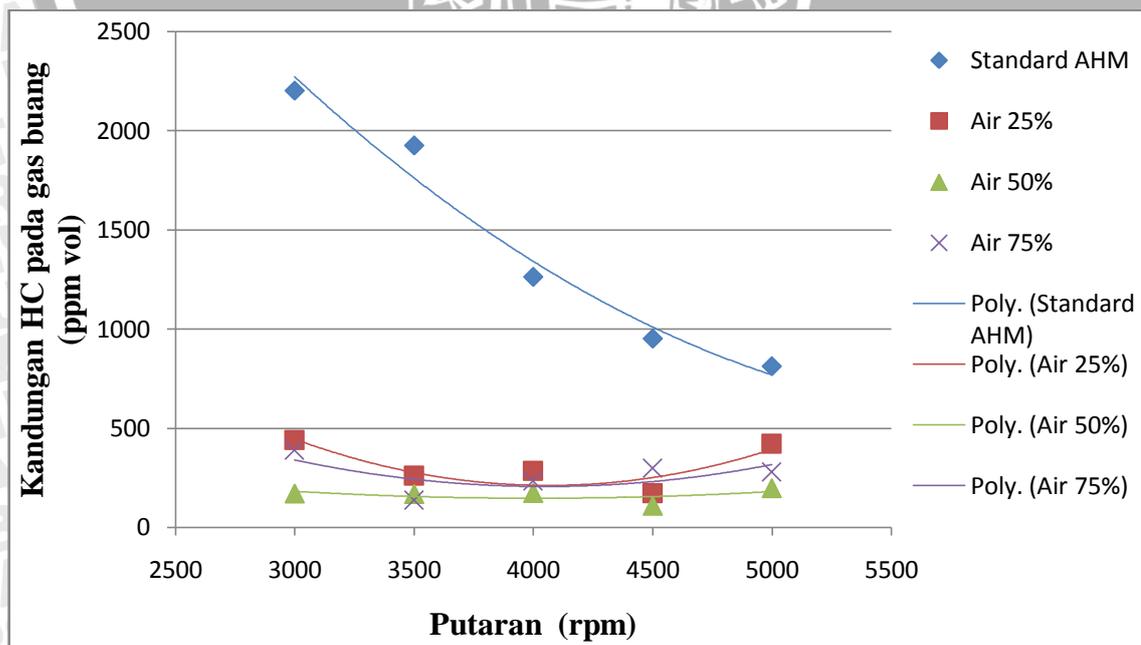
Gambar 4.6. Grafik Hubungan antara Putaran dengan Emisi Gas CO Variasi Campuran Bensin-Air 25%, 50%, dan 75% Air.

Dari gambar 4.5 menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran, kadar emisi gas CO yang dihasilkan cenderung meningkat, hal ini disebabkan karena semakin tinggi putaran campuran bahan bakar dengan udara semakin menjauhi dari campuran homogen yaitu campuran yang dapat menghasilkan pembakaran sempurna sehingga emisi gas CO yang dihasilkan semakin kecil. Semakin tinggi putaran, pembakaran yang terjadi semakin cepat sehingga pembakaran tidak dapat berlangsung secara sempurna dan menghasilkan emisi gas CO.

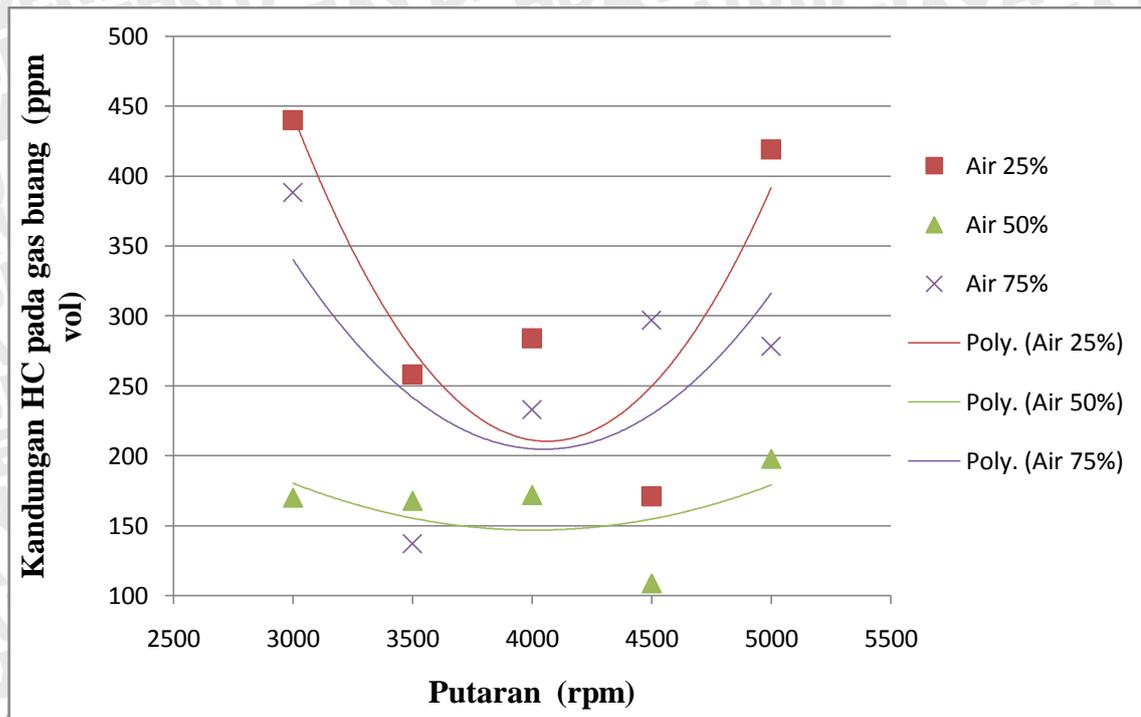
Pada pengujian motor otto dengan variasi campuran bensin-air menunjukkan bahwa semakin banyak campuran air maka emisi gas CO yang dihasilkan akan semakin kecil. Hal ini disebabkan karena semakin banyak air, maka akan semakin banyak pula gas metan yang terbentuk. Pembakaran gas metan menghasilkan gas buang yang lebih baik daripada pembakaran bensin. Selain itu, lebih banyak air maka lebih banyak pula zat pelarut yang dapat mengikat emisi dan jelaga pada gas buang sehingga emisi gas CO yang dihasilkan lebih rendah. Emisi gas CO yang paling rendah dihasilkan oleh bahan bakar campuran bensin-air dengan persentase air 75% pada putaran 3000 rpm sebesar 0,049% vol gas buang.

4.2.6. Hubungan antara Putaran dengan Emisi Gas HC

Hubungan antara putaran dengan emisi gas HC pada pemakaian variasi campuran bahan bakar bensin-air dengan persentase air 25%, 50%, dan 75% dapat dilihat pada gambar 4.7 dan gambar 4.8 berikut:



Gambar 4.7. Grafik Hubungan antara Putaran dengan Emisi Gas HC.



Gambar 4.8. Grafik Hubungan antara Putaran dengan Emisi Gas HC Variasi Campuran Bensin-Air 25%, 50%, dan 75% Air.

Dari gambar 4.7 menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran maka emisi gas HC mengalami penurunan sampai pada putaran tertentu kemudian mengalami kenaikan seiring bertambahnya putaran. Hal ini disebabkan karena dengan bertambahnya putaran campuran bahan bakar dengan udara mendekati homogen sehingga pembakaran yang terjadi lebih baik. Oleh karena itu emisi gas HC yang dihasilkan semakin kecil. Akan tetapi setelah melewati putaran tertentu emisi gas HC naik lagi. Hal ini disebabkan semakin tinggi putaran menghasilkan campuran kaya akan bahan bakar sehingga banyak bahan bakar yang tidak terbakar secara sempurna dan menghasilkan emisi gas HC yang keluar melalui saluran pembuangan.

Bahan bakar dengan persentase air 50% memiliki kadar emisi gas HC yang paling rendah diantara jenis campuran yang lain. Hal ini disebabkan karena pada bahan bakar dengan persentase air 50% memiliki komposisi campuran bensin, gas metan, dan uap air yang sesuai dengan kebutuhan mesin sehingga dapat menghasilkan pembakaran yang lebih baik. Emisi gas HC yang paling rendah dicapai pada putaran 4500 rpm sebesar 109 ppm vol gas buang.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil dan pembahasan pengujian pengaruh variasi campuran bensin – air pada alat *Processor Multi – Fuel* terhadap unjuk kerja dan emisi gas buang, dapat diambil kesimpulan bahwa penambahan air pada alat *Processor Multi – Fuel* mempunyai pengaruh terhadap unjuk kerja dan emisi gas CO dan HC pada motor otto empat langkah. Pada variasi putaran 3000 – 5000 rpm, campuran bensin-air yang optimal untuk:

- Torsi yaitu campuran air 25% pada putaran 3000 rpm sebesar 0,76 kg,m
- Daya efektif yaitu campuran air 50% pada putaran 4500 rpm sebesar 4,1 PS
- SFCE yang rendah yaitu campuran air 75% pada putaran 4000 rpm sebesar 0,196 kg.PS⁻¹.jam⁻¹
- Efisiensi termal efektif yaitu campuran air 75% pada putaran 4000 rpm sebesar 32,24%
- Emisi gas CO yang rendah yaitu campuran air 75% pada putaran 3000 sebesar 0,049% vol gas buang
- Emisi gas HC yang rendah yaitu campuran air 50% pada putaran 4500 sebesar 109 ppm vol gas buang

Secara keseluruhan unjuk kerja yang baik dan emisi gas CO dan gas HC yang rendah dicapai dengan menggunakan bahan bakar campuran air 50%.

5.2. Saran

1. Pada laporan skripsi ini belum dibahas proses terbentuknya gas metana pada tabung sehingga perlu dilakukan pengamatan bagaimana proses terbentuknya gas metana dari hasil reaksi antara bensin, air, dan gas buang
2. Pencarian nilai kalor bahan bakar sebaiknya diukur dengan *bomb calorimeter*
3. Dapat dilakukan pengembangan penelitian dengan variasi campuran bahan bakar lain misalnya etanol – air.
4. Perlu dilakukan penelitian dengan kondisi mesin berjalan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1987. *Instruction Manual Book Engine Research and Test Bed*. Tokyo.
- Anonim, 2005. *Stargas Mod 898 Operating Instructions Book*. Jepang.
- Anonim, 2009. <http://www.jlnlabs.org/> (diakses bulan Januari 2009).
- Anonim, 2009. <http://en.wikipedia.org/> (diakses bulan Januari 2009).
- Anonim, 2009. <http://id.wikipedia.org/> (diakses bulan Januari 2009).
- Anonim, 2009. <http://belajarkimia.com/2008/12/mencari-konsentrasi-co-h2o-co2-dan-h2-pada-keadaan-setimbang/> (diakses bulan April 2009).
- Arends, B. P. M. & Berenschot, H. 1994. *Motor Bensin*. Jakarta: Erlangga.
- Arismunandar, W. 2002. *Penggerak Mula Motor Bakar Torak*. Bandung: ITB.
- Bueche, F. J. 1988. *Fisika*. Jakarta: Erlangga.
- Petrovsky, N. 1979. *Marine Internal Combustion Engine*. Moscow: Mir Publisher.
- Pulkrabrek, Willard W. 2004. *Engineering Fundamental of The Internal Combustion Engine*. New Jersey: Prentice Hal International inc.
- Soenarta, Nakoela. 1995. *Motor Serbaguna*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Wahyudi, Slamet. 2006. *Statistik Teknik*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Wardana, I. N. G. 2008. *Bahan Bakar & Teknologi Pembakaran*. Malang: Danar Wijaya.
- Yulianto, Firman. 2007. *Pengaruh Variasi Fraksi Volume Etanol – Bensin terhadap Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang Motor Otto Empat Langkah*. Skripsi tidak diterbitkan, Malang: Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Pengolahan Data Pengujian Motor Bensin Empat Langkah

Variasi Campuran	n (rpm)	T (kg.m)	Ne (PS)	FC (kg.Jam ⁻¹)	SFCe (kg.PS ⁻¹ .Jam ⁻¹)	η_{termal} (%)	CO (% vol)	HC (ppm vol)
<i>Standard</i>	3000	0,88	3,67	1,020	0,278	21,54	7,952	2203
	3500	0,90	4,36	1,116	0,256	23,39	8,385	1927
	4000	0,83	4,62	1,240	0,268	22,33	8,795	1263
	4500	0,76	4,80	1,359	0,283	21,16	9,678	952
	5000	0,68	4,78	1,549	0,324	18,48	10,192	813
Air 25%	3000	0,76	3,17	0,708	0,223	27,19	0,576	440
	3500	0,72	3,50	0,769	0,220	27,66	0,708	258
	4000	0,71	3,96	0,796	0,201	30,20	0,382	284
	4500	0,62	3,90	0,862	0,221	27,50	0,525	171
	5000	0,57	3,95	0,980	0,248	24,47	0,318	419
Air 50%	3000	0,69	2,90	0,663	0,228	27,17	0,468	170
	3500	0,68	3,31	0,704	0,213	29,14	0,068	168
	4000	0,68	3,82	0,803	0,210	29,56	0,093	172
	4500	0,65	4,10	0,815	0,199	31,26	0,340	109
	5000	0,56	3,89	0,850	0,218	28,42	0,132	198
Air 75%	3000	0,70	2,93	0,649	0,221	28,53	0,049	388
	3500	0,68	3,35	0,696	0,208	30,34	0,115	137
	4000	0,65	3,65	0,714	0,196	32,24	0,184	233
	4500	0,58	3,65	0,775	0,212	29,76	0,106	297
	5000	0,52	3,61	0,888	0,246	25,69	0,070	278

Lampiran 2. Kalibrasi *Orifice* Udara

Q rotameter (lt.s^{-1})	Δh (mm)	Δh rata-rata (mm)	β	m aktual (kg.s^{-1})	m teoritis (kg.s^{-1})	C_d
1	14	15	0,5	0,0010938	0,0024247	0,4511084
	16					
	15					
2	50	52	0,5	0,0021876	0,0045145	0,4845682
	56					
	50					
3	96	93,33	0,5	0,0032814	0,0060482	0,5425371
	90					
	94					
4	160	162,33	0,5	0,0043751	0,0079764	0,5485077
	163					
	164					
5	245	245,33	0,5	0,0054689	0,0098058	0,5577227
	248					
	243					
6	323	322,67	0,5	0,0065627	0,0112456	0,5835805
	320					
	325					
Total						3,1680247
Rata-rata						0,5280041

Dari data di atas diambil *Coefficient Discharge* (C_d) = 0,528

Lampiran 3. Perhitungan Niai Kalor Bahan Bakar

Diketahui:

Komposisi bahan bakar dengan campuran air 25%:

$$\text{CH}_4 = 14,5\%$$

$$\text{H}_2\text{O} = 0,9\%$$

$$\text{Bensin} = 84,6\%$$

$$p = 14 \text{ psi} = 9,65266 \times 10^4 \text{ Pa}$$

$$V = 1000 \text{ mL} = 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$T = 98,5 \text{ }^\circ\text{C} = 371,5 \text{ K}$$

$$R_{\text{CH}_4} = 0,5182 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1} = 518,2 \text{ N.m.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1,0422 \times 10^{-3} \text{ m}^3.\text{kg}^{-1} \text{ (pada } p = 9,65266 \times 10^4 \text{ Pa dan } T = 98,5 \text{ }^\circ\text{C)}$$

Persamaan gas ideal:

$$p.V = m.R.T$$

$$V_{\text{CH}_4} = 0,145 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 1,45 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$m_{\text{CH}_4} = \frac{p.V}{R.T}$$

$$= \frac{9,65266 \times 10^4 \text{ [Pa]} \times 1,45 \times 10^{-4} \text{ [m}^3\text{]}}{518,2 \text{ [N.m.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}] \times 371,5 \text{ [K]}}$$

$$= 7,27 \times 10^{-5} \text{ kg}$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 0,009 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 9 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{1}{v}$$

$$= \frac{1}{1,0422 \times 10^{-3} \text{ [m}^3.\text{kg}^{-1}\text{]}}$$

$$= 959,54 \text{ kg.m}^{-3}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \rho \times V$$

$$= 959,54 \text{ [kg.m}^{-3}\text{]} \times 9 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$= 8,635 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$V_{\text{Bensin}} = 0,846 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 8,46 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$m_{\text{Bensin}} = \rho \times V$$

$$= 715 \text{ [kg.m}^{-3}\text{]} \times 8,46 \times 10^{-4} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$= 0,60489 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Total}} = m_{\text{CH}_4} + m_{\text{H}_2\text{O}} + m_{\text{Bensin}}$$

$$= 7,27 \times 10^{-5} \text{ [kg]} + 8,635 \times 10^{-3} \text{ [kg]} + 0,60489 \text{ [kg]}$$

$$= 0,61359856 \text{ kg}$$

$$\% m_{CH_4} = \frac{m_{CH_4}}{m_{Total}} \times 100$$

$$= \frac{7,27 \times 10^{-5} \text{ [kg]}}{0,61359856 \text{ [kg]}} \times 100 = 0,0118 \%$$

$$\% m_{Bensin} = \frac{m_{Bensin}}{m_{Total}} \times 100$$

$$= \frac{0,60489 \text{ [kg]}}{0,61359856 \text{ [kg]}} \times 100 = 98,58 \%$$

$$LHV = (\% m_{CH_4} \times LHV_{CH_4}) + (\% m_{Bensin} \times LHV_{Bensin})$$

$$= 0,000118 \times 11940,29 \text{ [kkal.kg}^{-1}] + 0,9858 \times 10551,2 \text{ [kkal.kg}^{-1}]$$

$$= 10402,87 \text{ kkal.kg}^{-1}$$

Komposisi bahan bakar dengan campuran air 50%:

$$CH_4 = 39,5\%$$

$$H_2O = 1,6\%$$

$$Bensin = 58,9\%$$

$$p = 14 \text{ psi} = 9,65266 \times 10^4 \text{ Pa}$$

$$V = 1000 \text{ mL} = 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$T = 98,5 \text{ }^\circ\text{C} = 371,5 \text{ K}$$

$$R_{CH_4} = 0,5182 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1} = 518,2 \text{ N.m.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$\nu_{H_2O} = 1,0422 \times 10^{-3} \text{ m}^3.\text{kg}^{-1} \text{ (pada } p = 9,65266 \times 10^4 \text{ Pa dan } T = 98,5 \text{ }^\circ\text{C)}$$

Persamaan gas ideal:

$$p.V = m.R.T$$

$$V_{CH_4} = 0,395 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 3,95 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$m_{CH_4} = \frac{p.V}{R.T}$$

$$= \frac{9,65266 \times 10^4 \text{ [Pa]} \times 3,95 \times 10^{-4} \text{ [m}^3]}{518,2 \text{ [N.m.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}] \times 371,5 \text{ [K]}}$$

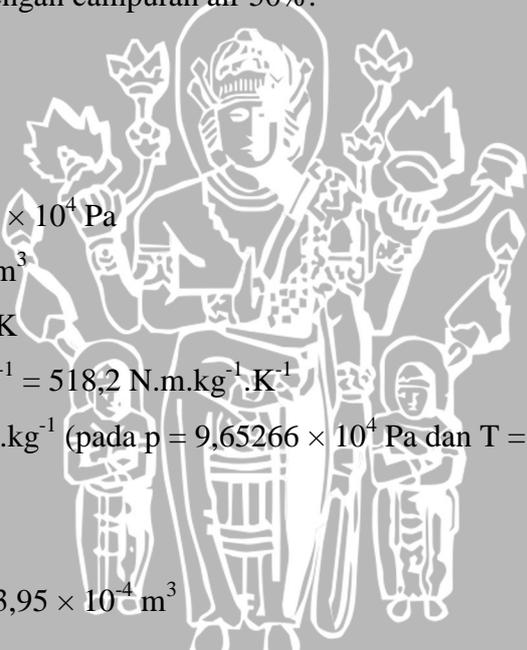
$$= 1,981 \times 10^{-4} \text{ kg}$$

$$V_{H_2O} = 0,016 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 1,6 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$\rho_{H_2O} = \frac{1}{\nu}$$

$$= \frac{1}{1,0422 \times 10^{-3} \text{ [m}^3.\text{kg}^{-1}]}$$

$$= 959,54 \text{ kg.m}^{-3}$$



$$m_{H_2O} = \rho \times V$$

$$= 959,54 \text{ [kg.m}^{-3}\text{]} \times 1,6 \times 10^{-5} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$= 1,535 \times 10^{-2} \text{ kg}$$

$$V_{\text{Bensin}} = 0,589 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 5,89 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$m_{\text{Bensin}} = \rho \times V$$

$$= 715 \text{ [kg.m}^{-3}\text{]} \times 5,89 \times 10^{-4} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$= 0,421135 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Total}} = m_{\text{CH}_4} + m_{\text{H}_2\text{O}} + m_{\text{Bensin}}$$

$$= 1,981 \times 10^{-4} \text{ [kg]} + 1,535 \times 10^{-2} \text{ [kg]} + 0,421135 \text{ [kg]}$$

$$= 0,4366857 \text{ kg}$$

$$\% m_{\text{CH}_4} = \frac{m_{\text{CH}_4}}{m_{\text{Total}}} \times 100$$

$$= \frac{1,981 \times 10^{-4} \text{ [kg]}}{0,4366857 \text{ [kg]}} \times 100 = 0,0453 \%$$

$$\% m_{\text{Bensin}} = \frac{m_{\text{Bensin}}}{m_{\text{Total}}} \times 100$$

$$= \frac{0,421135 \text{ [kg]}}{0,4366857 \text{ [kg]}} \times 100 = 96,438 \%$$

$$\text{LHV} = (\% m_{\text{CH}_4} \times \text{LHV}_{\text{CH}_4}) + (\% m_{\text{Bensin}} \times \text{LHV}_{\text{Bensin}})$$

$$= 0,000453 \times 11940,29 \text{ [kkal.kg}^{-1}\text{]} + 0,96438 \times 10551,2 \text{ [kkal.kg}^{-1}\text{]}$$

$$= 10180,88 \text{ kkal.kg}^{-1}$$

Komposisi bahan bakar dengan campuran air 75%:

$$\text{CH}_4 = 46\%$$

$$\text{H}_2\text{O} = 2,1\%$$

$$\text{Bensin} = 51,9\%$$

$$p = 14 \text{ psi} = 9,65266 \times 10^4 \text{ Pa}$$

$$V = 1000 \text{ mL} = 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$T = 98,5 \text{ }^\circ\text{C} = 371,5 \text{ K}$$

$$R_{\text{CH}_4} = 0,5182 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1} = 518,2 \text{ N.m.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$v_{\text{H}_2\text{O}} = 1,0422 \times 10^{-3} \text{ m}^3.\text{kg}^{-1} \text{ (pada } p = 9,65266 \times 10^4 \text{ Pa dan } T = 98,5 \text{ }^\circ\text{C)}$$

Persamaan gas ideal:

$$p.V = m.R.T$$

$$V_{\text{CH}_4} = 0,46 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 4,6 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$m_{CH_4} = \frac{p \cdot V}{R \cdot T}$$

$$= \frac{9,65266 \times 10^4 \text{ [Pa]} \times 4,6 \times 10^{-4} \text{ [m}^3\text{]}}{518,2 \text{ [N.m.kg}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{]} \times 371,5 \text{ [K]}}$$

$$= 2,306 \times 10^{-4} \text{ kg}$$

$$V_{H_2O} = 0,021 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 2,1 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$\rho_{H_2O} = \frac{1}{v}$$

$$= \frac{1}{1,0422 \times 10^{-3} \text{ [m}^3\text{.kg}^{-1}\text{]}}$$

$$= 959,54 \text{ kg.m}^{-3}$$

$$m_{H_2O} = \rho \times V$$

$$= 959,54 \text{ [kg.m}^{-3}\text{]} \times 2,1 \times 10^{-5} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$= 2,015 \times 10^{-2} \text{ kg}$$

$$V_{Bensin} = 0,519 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 5,19 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$m_{Bensin} = \rho \times V$$

$$= 715 \text{ [kg.m}^{-3}\text{]} \times 5,19 \times 10^{-4} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$= 0,371085 \text{ kg}$$

$$m_{Total} = m_{CH_4} + m_{H_2O} + m_{Bensin}$$

$$= 2,306 \times 10^{-4} \text{ [kg]} + 2,015 \times 10^{-2} \text{ [kg]} + 0,371085 \text{ [kg]}$$

$$= 0,391466 \text{ kg}$$

$$\% m_{CH_4} = \frac{m_{CH_4}}{m_{Total}} \times 100$$

$$= \frac{2,306 \times 10^{-4} \text{ [kg]}}{0,391466 \text{ [kg]}} \times 100 = 0,0589 \%$$

$$\% m_{Bensin} = \frac{m_{Bensin}}{m_{Total}} \times 100$$

$$= \frac{0,371085 \text{ [kg]}}{0,391466 \text{ [kg]}} \times 100 = 94,793 \%$$

$$LHV = (\% m_{CH_4} \times LHV_{CH_4}) + (\% m_{Bensin} \times LHV_{Bensin})$$

$$= 0,000589 \times 11940,29 \text{ [kkal.kg}^{-1}\text{]} + 0,94793 \times 10551,2 \text{ [kkal.kg}^{-1}\text{]}$$

$$= 10008,91 \text{ kkal.kg}^{-1}$$



Lampiran 4. Rumus Berat Jenis Udara dan Tabel Udara

$$\gamma_{ud} = \gamma_N \frac{Pa - \phi \cdot Ps}{760} \times \frac{273}{273 + \theta} + \phi \cdot \gamma_w$$

dengan:

γ_{ud} : berat jenis udara pada kondisi lingkungan (kg.m^{-3})

γ_N : berat jenis udara kering pada temperatur θ °C dan tekanan 760 mmHg ($1,293 \text{ kg.m}^{-3}$)

Pa : tekanan atmosfer lingkungan (mmHg)

ϕ : relatif humidity

γ_w : berat jenis uap air pada temperatur θ °C (kg.m^{-3})

Ps : tekanan uap air jenuh paada temperatur θ °C (mmHg)

θ (°C)	Ps (mmHg)	γ_w (kg.m^{-3})	θ (°C)	Ps (mmHg)	γ_w (kg.m^{-3})
0	4,581	0,00485	21	18,65	0,01834
1	4,952	0,00520	22	19,82	0,01943
2	5,292	0,00556	23	21,07	0,02058
3	5,682	0,00595	24	22,38	0,02179
4	6,698	0,00636	25	23,75	0,02306
5	6,540	0,00680	26	25,21	0,02438
6	7,010	0,00726	27	26,74	0,02578
7	7,511	0,00775	28	28,35	0,02725
8	8,042	0,00827	29	30,04	0,02878
9	8,606	0,00882	30	31,83	0,03039
10	9,205	0,00940	31	33,70	0,03207
11	9,840	0,01001	32	35,67	0,03384
12	10,514	0,01066	33	37,73	0,03569
13	11,23	0,01135	34	39,90	0,03762
14	11,98	0,01207	35	42,18	0,03964
15	12,78	0,01238	36	44,57	0,04175
16	13,61	0,01364	37	47,08	0,04396
17	14,63	0,01448	38	49,70	0,04627
18	15,47	0,01537	39	52,45	0,04869
19	16,47	0,01631	40	55,34	0,05120
20	17,53	0,01730			

Lampiran 5. Perhitungan Berat Jenis Udara

Diketahui:

Temperatur lingkungan : 28 °C

Tekanan udara sekitar : 716 mmHg

Kelembaban relatif : 59% = 0,59

Dari tabel udara dengan kondisi lingkungan tersebut di atas diperoleh:

$P_s = 28,35 \text{ mmHg}$

$\gamma_w = 0,02725 \text{ kg.m}^{-3}$

$$\begin{aligned}\gamma_{ud} &= \gamma_N \frac{Pa - \phi \cdot P_s}{760} \times \frac{273}{273 + \theta} + \phi \cdot \gamma_w \\ &= 1,293 \times \frac{716 - (0,59 \times 28,35)}{760} \times \frac{273}{(273 + 28)} + 0,59 \times 0,02725 \\ &= 1,095 \text{ kg.m}^{-3}\end{aligned}$$

Massa jenis udara yang digunakan yaitu $\rho_{ud} = 1,095 \text{ kg.m}^{-3}$



Lampiran 6. Gambar Peralatan Pengujian



Mesin Otto dengan modifikasi *Processor Multi – Fuel* bahan bakar bensin – air



Gas Analyzer

Lampiran 7. Sertifikat dan Hasil Pengujian Sampel Bahan Bakar



LABORATORIUM KUALITAS AIR

Jl. Surabaya 2A Malang Telp. (0341) 551971, Fax. (0341) 551976, E-mail : laboratorium@jasatirta1.go.id
Ds. Lengkong Kec. Mojoanyar-Mojokerto, Telp. (0321) 331860 & Fax. (0321) 395134

SERTIFIKAT CERTIFICATE

Nomor : 22 S/LKA MLG/VII/23

IDENTITAS PEMILIK

Owner Identity

Nama : Imam Ganidian
Name
Alamat : Malang
Address

Halaman 1 dari 2

Page 1 of 2

IDENTITAS CONTOH UJI

Sample Identity

Kode Contoh Uji : Ext. 13/PC/VII/2009/13
Sample Code
Jenis Contoh Uji : Gas Buatan
Type of Sample
Lokasi Pengambilan Contoh Uji :
Sampling Location
Petugas Pengambilan Contoh Uji : Imam Ganidian
Sampling Done By
Tgl/ Jam Pengambilan Contoh Uji : Juli 2009
Date Time of Sampling
Tgl/ Jam Penerimaan Contoh Uji : Juli 2009 Jam 15:04 WIB
Date Time of Sample Receiving in Laboratory
Kondisi Contoh Uji : Normal
Sample Condition (s)

HASIL ANALISA

Result of Analysis

Terlampir : Diterbitkan Di/ Tanggal Malang, 28 Juli 2009
Enclosed : Place/ Date of Issue

JB

Laboratorium Kualitas Air
Perum Jasa Tirta I

Darwis Hidayat A, ST
Kepala Laboratorium
Head of Laboratory

Sertifikat atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari
Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I

Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I
This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or published without any approval from
Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation



LABORATORIUM KUALITAS AIR

Jl. Surabaya 2A Malang 65115, Indonesia. Telp. (0341) 551971, Fax. (0341) 551976
 Desa Lengong Kec. Mojoanyar-Mojokerto, Indonesia Telp. (0321) 331860, Fax. (0321) 395134
 E-mail : laboratorium@jasatirta1.go.id

Nomor : 22 S/LKA MLG/VII/23

Halaman 2 dari 2

Page 2 of 2

Kode Contoh Uji
Sample Code

Ext. 13/PC/VII/2009/13

Metode Pengambilan Contoh Uji
Sampling Method

:-

Tempat Analisa
Place of Analysis

: Laboratorium Kualitas Air PJT I Malang

Tanggal Analisa
Testing Date(s)

: 23-24 Juli 2009

HASIL ANALISA

Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Keterangan
	Gas Buatan				-
	Bensin : Air (50:50)				-
	Kadar C sbg Methane	%	39,5	Combustion Methode	-
					-
					-



Sertifikat atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari

Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta 1

Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta 1

This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or published without any approval from
Water Quality Laboratory of Jasa Tirta 1 Public Corporation

This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory of Jasa Tirta 1 Public Corporation





JASA TIRTA 1

LABORATORIUM KUALITAS AIR

Jl. Surabaya 2A Malang Telp. (0341) 551971, Fax. (0341) 551976, E-mail : laboratorium@jasatirta1.go.id
 Ds. Lengkong Kec. Mojoanyar-Mojokerto, Telp. (0321) 331860 & Fax. (0321) 395134

SERTIFIKAT CERTIFICATE

Nomor : 24 S/LKA MLG/VIII/24

IDENTITAS PEMILIK

Owner Identity

Nama : Akmad Ardiansyah
 Name
 Alamat : Malang
 Address

Halaman 1 dari 2

Page 1 of 2

IDENTITAS CONTOH UJI

Sample Identity

Kode Contoh Uji : Ext. 14-15/PC/VIII/2009/14-15
 Sample Code
 Jenis Contoh Uji : Gas Buatan
 Type of Sample
 Lokasi Pengambilan Contoh Uji :
 Sampling Location
 Petugas Pengambilan Contoh Uji : Akmad Ardiansyah
 Sampling Done By
 Tgl/ Jam Pengambilan Contoh Uji : Agustus 2009
 Date Time of Sampling
 Tgl/ Jam Penerimaan Contoh Uji : 2 Agustus 2009 Jam 15:04 WIB
 Date Time of Sample Receiving in Laboratory
 Kondisi Contoh Uji : Normal
 Sample Condition (s)

HASIL ANALISA

Result of Analysis

Terlampir : Diterbitkan Di/ Tanggal : Malang, 6 Agustus 2009
 Enclosed : Place/ Date of Issue

Laboratorium Kualitas Air
 Perum Jasa Tirta 1

Darwis Hidayat A, ST
 Kepala Laboratorium
 Head of Laboratory

Sertifikat atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari
 Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta 1

Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta 1
 This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or published without any approval from
 Water Quality Laboratory of Jasa Tirta 1 Public Corporation

This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory of Jasa Tirta 1 Public Corporation





LABORATORIUM KUALITAS AIR

Jl. Surabaya 2A Malang 65115, Indonesia. Telp. (0341) 551971, Fax. (0341) 551976
 Desa Lengkong Kec. Mojoanyar-Mojokerto, Indonesia Telp. (0321) 331860, Fax. (0321) 395134
 E-mail : laboratorium@jasatirta1.go.id

Nomor : 24 S/LKA MLG/VIII/24

Halaman 2 dari 2

Page 2 of 2

Kode Contoh Uji
Sample Code

Ext. 14-15/PC/VIII/2009/14-15

Metode Pengambilan Contoh Uji
Sampling Method

: -

Tempat Analisa
Place of Analysis

: Laboratorium Kualitas Air PJT I Malang

Tanggal Analisa
Testing Date(s)

: 5 Agustus 2009

HASIL ANALISA

Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Keterangan
	Gas Buatan				-
	Kadar C sbg Methane				-
	Bensin : Air (25:75)	%	46,0	Combustion Methode	-
	Bensin : Air (75:25)	%	14,5	Combustion Methode	-
					-
					-



Sertifikat atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I

*Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I
 This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or published without any approval from
 Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation*

This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

