



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PENAMBAHAN GAS ELEKTROLISA AIR
TERHADAP KONSUMSI PERTAMAX PADA MOTOR
BAKAR 4 LANGKAH DENGAN PENGECILAN PILOT JET**

SKRIPSI

Alva Kurnia L Wirekso

NPM : 040502009X

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
DEPOK
JULI 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PENAMBAHAN GAS ELEKTROLISA AIR
TERHADAP KONSUMSI PERTAMAX PADA MOTOR
BAKAR 4 LANGKAH DENGAN PENGECILAN PILOT JET**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

Alva Kurnia L Wirekso

NPM : 040502009X

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**

DEPOK

JULI 2009

Universitas Indonesia

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
Telah saya nyatakan dengan benar.**

NAMA : Alva Kurnia L Wirekso

NPM: : 040502009X

TANDA TANGAN :

TANGGAL : Juli 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Alva Kurnia L Wirekso
 NPM : 040502009X
 Program Studi : Teknik Mesin
 Judul Skripsi : Pengaruh Penambahan Gas Elektrolisa Air Terhadap Konsumsi Pertamina Pada Motor Bakar 4 Langkah Dengan Pengecilan Pilot Jet

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada program studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : **Prof.Dr.Ir Bambang S. M eng.** ()
 Penguji : Dr. Ir Yulianto S Nugroho Meng ()
 Penguji : Dr. Ir. Danardono M eng. ()
 Penguji : Dr. Ir. Adi Suryosatyo. ()

Ditetapkan di :

Tanggal :

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan Rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Mesin Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi Penulis untuk menyelesaikan Skripsi ini. Oleh karena itu, Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof.Dr.Ir Bambang S. M, Eng, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan Penulis dalam penyusunan skripsi ini;
2. Seluruh staff pengajar Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia yang telah memberikan ilmu dan mengajarkan pola pikir yang baik sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi dengan sebaik-baiknya.
3. Seluruh staff karyawan Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia yang telah membantu dan memberi saran dalam setting alat uji pengambilan data.
4. Orang tua dan keluarga Penulis yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
5. Teman-teman yang telah banyak membantu Penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, Penulis berharap tuhan yang maha esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Juli 2009

Penulis

Universitas Indonesia

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Alva Kurnia L Wirekso

NPM : 040502009X

Program Studi : Teknik Mesin

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul : **PENGARUH PENAMBAHAN GAS ELEKTROLISA AIR TERHADAP KONSUMSI PERTAMAX PADA MOTOR BAKAR 4 LANGKAH DENGAN PENGECILAN PILOT JET**, beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Juli 2009

Yang menyatakan

(Alva Kurnia L Wirekso)

ABSTRAK

Nama : Alva Kurnia L Wirekso
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Pengaruh Penambahan Gas Elektrolisa Air Terhadap Konsumsi
Pertamax Pada Motor Bakar 4 Langkah Dengan Pengecilan
Pilot Jet

Struktur molekul air melalui proses elektrolisa dapat dipecah menjadi gas O₂ dan H₂. Dengan menambahkan gas hasil elektrolisa air ke motor bakar 4 langkah sebagai bahan bakar, gas ini dapat mengurangi peran bahan bakar minyak sebagai sumber energinya. Dengan menambahkan gas hasil elektrolisa air ke motor bakar 4 langkah sebagai bahan bakar, diyakini dapat mengurangi peran bahan bakar minyak sebagai sumber energinya. Agar dapat lebih mengurangi konsumsi bahan bakar, ukuran pilot jet pada karburator diperkecil beberapa tingkatan. Pengujian efisiensi ini dilakukan pada sepeda motor Honda Supra X 125cc dalam dua ukuran pilot jet, yaitu pilot jet ukuran standar (35) dan ukuran yang telah diperkecil (30). Pengujian dilakukan dengan membandingkan fuel consumption (FC) dan gas buang antara kondisi standar dengan dua kondisi yaitu kondisi penambahan gas elektrolisa pada kondisi standar dan dengan kondisi penambahan gas elektrolisa pada pilot jet yang telah diperkecil. Bahan bakar yang digunakan adalah bahan bakar pertamax. Pengujian dilakukan pada RPM 2500, 3500, 4500 dan 5500. Dari hasil pengujian didapat efisiensi terbaik pemakaian BBM rata-rata sebesar 16,905% untuk bahan bakar pertamax tanpa gas hidrogen dengan pengecilan ukuran pilot jet.

Kata kunci: karburator, sepeda motor, pengecilan pilot jet

ABSTRACT

Name : Alva Kurnia L Wirekso
Study Program : Mechanical Engineering
Judul : Effect of Addition of Electrolysis Gas To Fuel Consumption
Of 4-Stroke Internal Combustion Engine With Reduction Of
Pilot Jet Size.

Water molecular structure can be separated into O₂ and H₂ gas. With the addition of water electrolysis gas to a 4-stroke internal combustion engine, the fuel consumption can be decreased. For more reduction of liquid fuel consumption, we can minimize the size of the pilot jet in the carburettor. The efficiency experiment was done using Honda Supra X 125cc motor cycle with two size of pilot jet that is 30 and 35 (standard). The fuel consumption and exhaust gas of the standard condition is then compared with the modified condition; standard pilot jet size with electrolysis gas and reduced pilot jet with electrolysis gas. The fuel used is pertamax and the test is done in 2500, 3500, 4500 and 5500 RPM. From the tests, best average efficiency is gained from reduced pilot jet size without addition of electrolysis gas, that is 16,905% fuel saving compared to standard condition.

Key words: carburettor, motor cycle, reduction pilot jet size

DAFTAR ISI

PERNYATAAN ORISINALITAS	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMAKASIH	iii
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	iv
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI.....	0
DAFTAR GAMBAR	11
DAFTAR TABEL.....	13
DAFTAR NOTASI.....	14
DAFTAR NOTASI.....	14
BAB 1. PENDAHULUAN	15
1.1. LATAR BELAKANG.....	15
1.2. PERMASALAHAN	17
1.3. TUJUAN.....	17
1.4. BATASAN MASALAH.....	18
1.5. METODOLOGI PENULISAN	18
BAB 2. DASAR TEORI.....	20
2.1. MOTOR OTTO.....	20
2.2. SIKLUS KERJA MOTOR OTTO.....	21
2.3. PARAMETER PRESTASI MESIN	25
2.4. PEMBAKARAN DAN EMISI PADA MOTOR OTTO.....	26
2.4.1. Pembakaran Dengan Penambahan Gas Elektrolisa.....	27
2.5. TERBENTUKNYA POLUTAN PADA ALIRAN GAS BUANG	28
2.5.1. Karbon Monoksida (CO).....	28

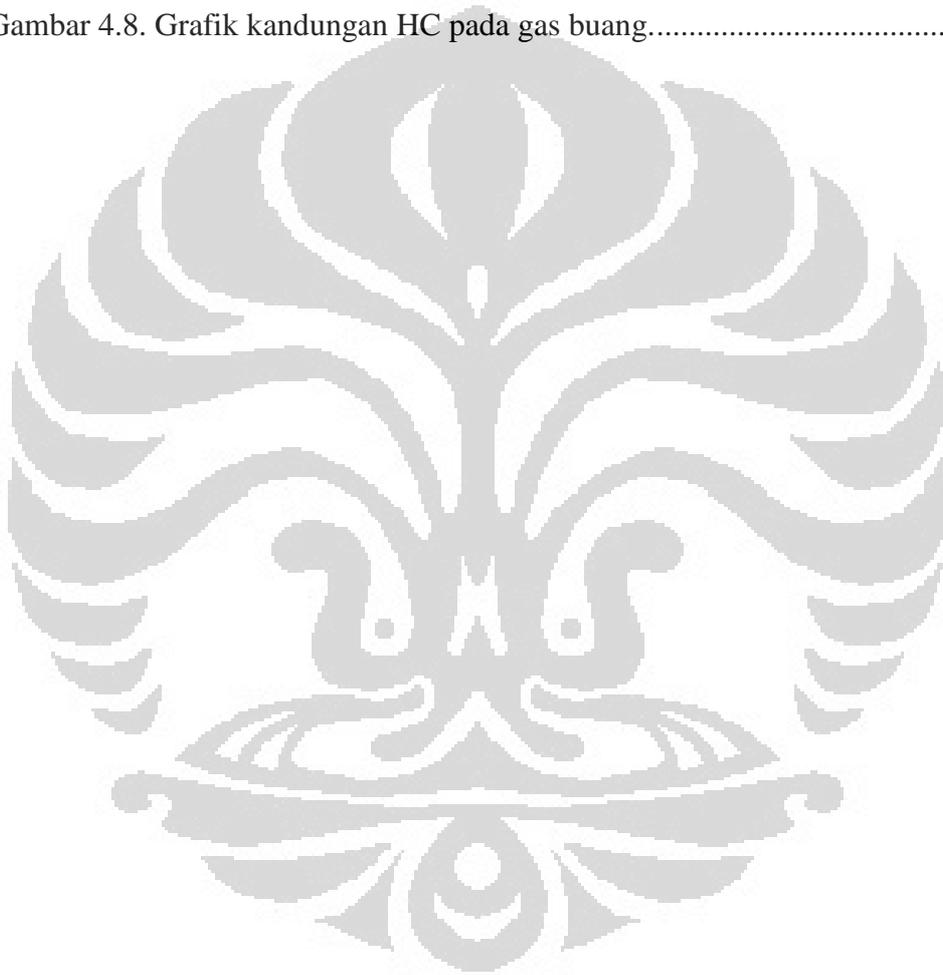
2.5.2.	Hidrokarbon (HC)	29
2.5.3.	Nitrogen Oksida (NO _x).....	29
2.5.4.	Udara Berlebih (Excess Air)	30
2.6.	ELEKTROLISA AIR	31
2.6.1	Pelepasan dan Penangkapan Elektron	31
2.7.	KARAKTERISTIK AIR	33
2.7.1	Hidrogen.....	34
2.7.2	Oksigen	36
2.8.	HUKUM-HUKUM FISIKA DAN KIMIA	36
2.8.1	Hukum Kekekalan Energi	36
2.8.2	Hukum Kekekalan Massa (Hukum Lavoiser).....	37
2.8.3	Persamaan-Persamaan Gas Ideal.....	37
2.9.	PRINSIP KERJA KARBURATOR	38
BAB 3.	METODE PENELITIAN.....	43
3.1	PENELITIAN.....	43
3.2	ALAT UJI.....	43
3.3	SKEMATIK ALAT UJI.....	47
3.4	PROSEDUR PENGUJIAN	51
3.4.1	Prosedur Pengukuran Laju Produksi Gas Hasil Elektrolisa Air.....	51
3.4.2	Proses Pengujian Tanpa Gas Elektrolisa Air.....	52
3.4.3	Prosedur Pengujian Dengan Gas Elektrolisa Air	53
BAB 4.	HASIL DAN ANALISA.....	55
4.1.	HASIL PENGUKURAN LAJU PRODUKSI GAS ELEKTROLISA.....	55
4.2.	PERHITUNGAN KESETIMBANGAN ENERGI.....	56
4.3.	PENGUJIAN KONSUMSI BAHAN BAKAR DAN EFISIENSI	58
4.4.	KANDUNGAN CO PADA GAS BUANG.....	61
4.5.	KANDUNGAN CO ₂ PADA GAS BUANG	62

4.6.	KANDUNGAN O ₂ PADA GAS BUANG	64
4.7.	KANDUNGAN HC PADA GAS BUANG.....	66
BAB 5.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	68
5.1	KESIMPULAN	68
5.2	SARAN.....	69
DAFTAR ACUAN	70
LAMPIRAN	71
Lampiran 1.	Data laju produksi gas elektrolisa air pada berbagai kuat arus.....	71
Lampiran 2.	Data laju penggunaan BBM pada berbagai rpm dan kondisi	71
Lampiran 3.	Data efisiensi dari berbagai kecepatan putar dan kondisi.....	71
Lampiran 4.	Data kadar CO dari berbagai kecepatan putar dan kondisi.....	72
Lampiran 5.	Data kadar CO dari berbagai kecepatan putar dan kondisi.....	72
Lampiran 6.	Data kadar HC dari berbagai kecepatan putar dan kondisi.....	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Grafik kenaikan suhu global antara tahun 1861-2000.	15
Gambar 1.2. Siklus H ₂ O.....	16
Gambar 1.3. Hanya bahan bakar hidrogen yang memenuhi ke-tiganya.	17
Gambar 2.1. Proses kerja motor Otto empat langkah	22
Gambar 2.2. Diagram P-V dan T-S ideal motor Otto empat langkah.....	23
Gambar 2.3. ikatan kima air.....	33
Gambar 2.4. Sifat kemampuan bakar berbagai jenis bahan bakar	35
Gambar 2.5 kinerja karburator, (a) idle, (b) throttle terbuka lebar	39
Gambar 2.6 Cara kerja venturi, kecepatan tinggi fluida menurunkan tekanan statisnya.....	40
Gambar 2.7. Skema sederhana karburator	40
Gambar 3.1 Sepeda motor Honda Supra X 125 cc	44
Gambar 3.2. Generator set ET 1500.....	45
Gambar 3.3. Tabung ukur gas keluaran elektrolisa air	45
Gambar 3.4. Technotest 488 plus gas analyzer.....	47
Gambar 3.5. Skema pengukuran volume gas hasil elektrolisa.....	48
Gambar 3.6. Skema alat uji tanpa gas elektrolisa air.	49
Gambar 3.7. Skema alat uji dengan injeksi gas elektrolisa air.....	49
Gambar 3.8. Posisi injeksi gas elektrolisa air pada air filter.....	50
Gambar 3.9. Pilot jet ukuran standard dan ukuran yang telah diperkecil	51
Gambar 3.10. Setup alat untuk pengukuran laju produksi gas elektrolisa air.....	52
Gambar 3.11. Proses pengujian dengan injeksi gas elektrolisa air.	54
Gambar 4.1. Produksi gas meningkat berbanding lurus dengan meningkatnya arus	56

Gambar 4.2 Aliran energi pada sistem.....	58
Gambar 4.3. Grafik konsumsi BBM pada berbagai rpm dan kondisi.....	59
Gambar 4.4. Grafik efisiensi pada berbagai rpm dan kondisi.....	61
Gambar 4.5. Grafik kandungan gas CO pada gas buang.	62
Gambar 4.6. Grafik kandungan gas CO ₂ pada gas buang.....	63
Gambar 4.7. Grafik kandungan gas O ₂ pada gas buang.....	65
Gambar 4.8. Grafik kandungan HC pada gas buang.....	66



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Sifat-sifat air.....	33
Tabel 2.2 Sifat kimia dan fisika hidrogen	34
Tabel 2.3. Nilai oktan berbagai bahan bakar.....	35
Tabel 2.4. Sifat Kimia dan fisika oksigen	36
Tabel 4.1. Data laju produksi gas elektrolisa air pada berbagai kuat arus	55
Tabel 4.2. Data laju penggunaan BBM pada berbagai rpm dan kondisi.....	59
Tabel 4.3. Data efisiensi dari berbagai kecepatan putar dan kondisi	60
Tabel 4.4. Data kadar CO dari berbagai kecepatan putar dan kondisi	62
Tabel 4.5. Data kadar CO dari berbagai kecepatan putar dan kondisi	63
Tabel 4.6. Data kadar CO dari berbagai kecepatan putar dan kondisi	64
Tabel 4.7. Data kadar HC dari berbagai kecepatan putar dan kondisi	66

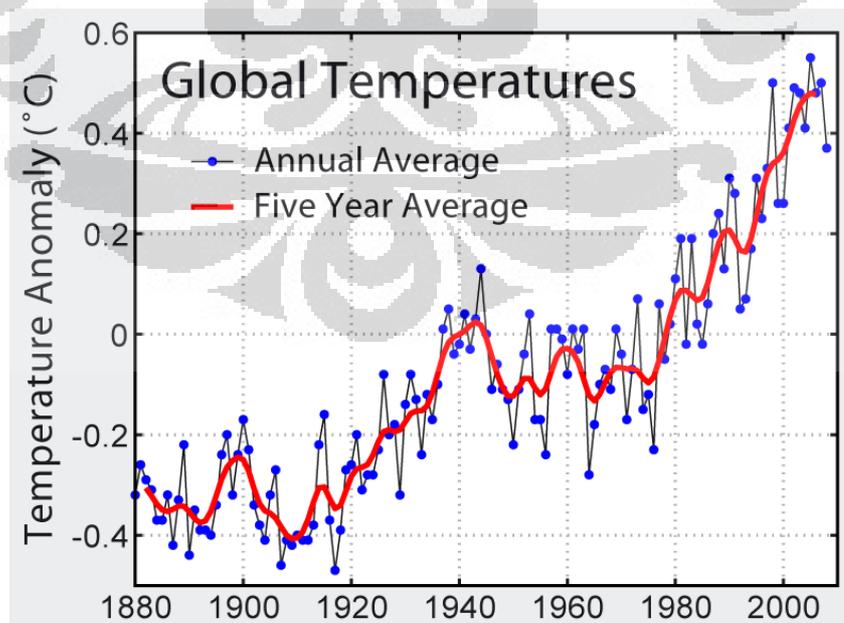
DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan	Dimensi
AFR	Perbandingan massa udara – bahan bakar	
AF _s	Perbandingan massa udara–bahan bakar (isooktana) stoikiometris	
M	Berat molekul	gr/mol
N	Jumlah molekul	mol ⁻¹
Q _{in}	Kalor masuk	Joule
Q _{HV}	Nilai kalor pembakaran bahan bakar	kJ/kg
R	Konstanta gas ideal	
T	Temperatur	K
V	Volume	m ³
a	Akselerasi	m
c	Fraksi massa	
g	Percepatan gravitasi	m/s ²
k	Konstanta Boltzmann	J K ⁻¹
m	Massa	kg
\dot{m}_f	Laju aliran massa bahan bakar	kg/s
n	densitas jumlah partikel	mol ⁻¹ m ⁻³
p	Tekanan	bar
t	Waktu	s
y	Fraksi mol	
μ _H	Massa satu atom hidrogen	kg
ρ	Massa jenis	kg/m ³
□ _f	Massa jenis bahan bakar	kg/m ³

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

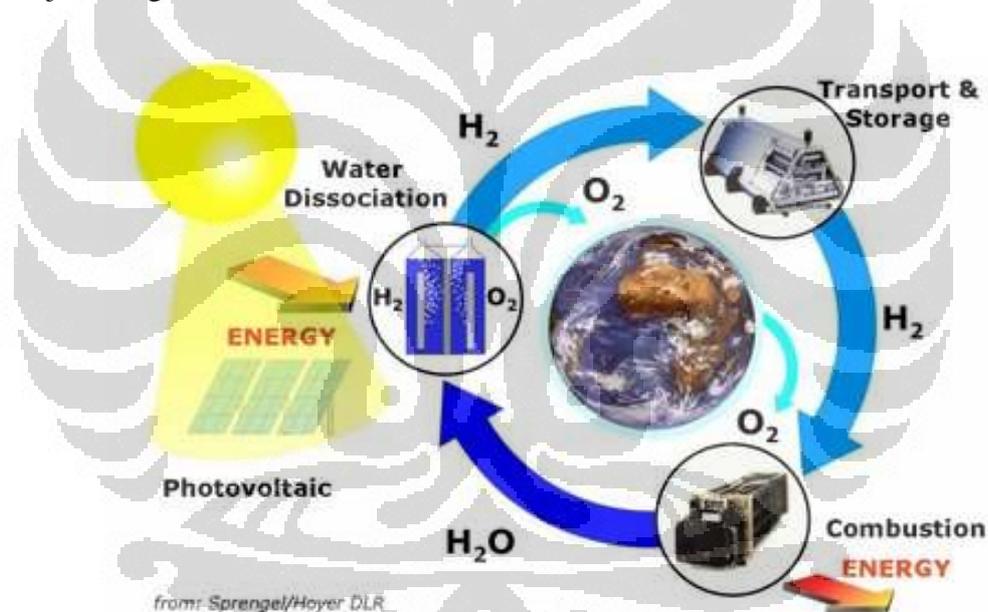
Masalah yang dihadapi dibelahan dunia manapun saat ini adalah masalah energi, dimana Bahan Bakar Minyak (BBM) merupakan salah satu energi utama yang digunakan oleh hampir seluruh aktifitas kehidupan manusia saat ini. Dari kegiatan rumah tangga, transportasi, hingga kegiatan produksi, hampir tidak ada yang terlepas dari penggunaan BBM. Namun dalam perkembangannya, BBM dihadapkan dengan beberapa masalah, diantaranya adalah bahan bakar ini tidak dapat diperbarui, sehingga dapat dipastikan suatu hari nanti BBM ini akan sulit didapatkan dan harganya akan terus meningkat setiap tahunnya, seperti yang terjadi pada akhir dekade ini dimana harga minyak mencapai titik tertingginya. Selain masalah tersebut BBM juga memiliki masalah lain yaitu gas hasil pembakaran yang mencemari udara, seperti yang kita ketahui bersama efek rumah kaca (*green house effect*) merupakan dampak dari polusi udara dunia yang semakin hari semakin bertambah parah.



Gambar 1.1. Grafik kenaikan suhu global antara tahun 1861-2000.

Sumber: id.wikipedia.org/wiki/berkas:instrumental_temperatur_Record.png

Saat ini penggunaan dan penemuan Bahan Bakar Alternatif tentunya menjadi perhatian khusus bagi hampir semua negara di dunia, dimana isu lingkungan (global warming), peningkatan penggunaan energi dan harga menjadi faktor utamanya. Salah satunya dari sekian banyak bahan bakar alternatif yang baru bermunculan adalah Bahan Bakar Air (blue energy). Dalam tiga tahun kebelakang diberitakan bahwa beberapa orang telah berhasil menjadikan air sebagai bahan bakar motor, kompor dan sebagainya, namun nampaknya baru sedikit bahasan akademis yang telah memaparkan fakta-fakta otentik dan bukti secara ilmu pengetahuan dibalik penemuan BBA, oleh karenanya, hal tersebut menuai kontroversi apakah benar air dapat dijadikan bahan bakar yang dapat diandalkan? Sehingga langkah-langkah kami dalam membuktikan hal tersebut menjadi sangat menarik.

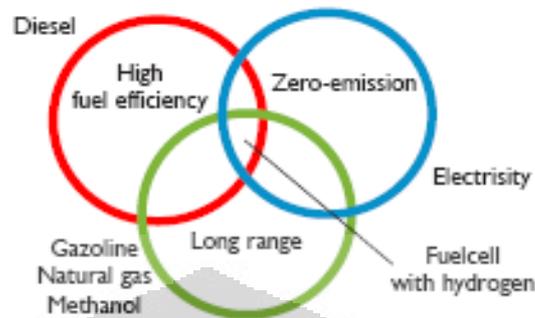


Gambar 1.2. Siklus H₂O.

Sumber: Sprengel/Hoyer DLR

Air di dunia ini tersedia dalam jumlah yang melimpah ruah, diketahui bahwa air menutupi 71 % belahan bumi. Air pun telah banyak membantu manusia dalam menyediakan kebutuhan energi seperti pada PLTA dimana aliran air sungai dimanfaatkan guna memutar rotor yang kemudian menghasilkan aliran listrik yang berguna bagi kehidupan kita. Berbeda namun serupa, pada BBA ini, sekali lagi kita akan menjadikan air sebagai energi yang berguna bagi kehidupan kita, namun saat ini bukan lagi aliran air yang kita manfaatkan, melainkan ikatan

molekul air itu sendiri (H₂O) yang nantinya akan dijadikan sebagai bahan bakar untuk mengurangi ketergantungan kita terhadap bahan bakar minyak.



Gambar 1.3. Hanya bahan bakar hidrogen yang memenuhi ke-tiganya.

Sumber: www.wikipedia.org

1.2. PERMASALAHAN

Menggunakan gas hasil elektrolisa air untuk mengurangi porsi penggunaan bahan bakar cair dapat lebih dioptimalkan dengan pengurangan konsumsi bahan bakar cair. Pengurangan ini dilakukan dengan mengurangi ukuran pilot jet standard kendaraan bermotor. Pengecilan ukuran pilot jet dapat menimbulkan air-fuel ratio (AFR) menjadi sangat kurus dan motor bakar kekurangan bahan bakar sehingga tersendat dan hampir mati. Keadaan AFR kurus ini dapat diperbaiki dengan pemberian gas hasil elektrolisa air sehingga motor bakar tidak tersendat dan bahan bakar cair dapat dihemat.

1.3. TUJUAN

Tujuan dalam penulisan makalah ini adalah:

- Membuktikan bahwa gas hasil elektrolisa air dapat digunakan sebagai bahan bakar yang dapat mempengaruhi pembakaran di ruang bakar.
- Membandingkan jumlah penghematan yang dapat diperoleh pada motor bakar yang diperkecil ukuran pilot jet-nya dan diberi gas elektrolisa air.
- Mengetahui perubahan komposisi gas buang pada kendaraan bermotor setelah penambahan gas hasil elektrolisa air

1.4. BATASAN MASALAH

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu :

- Pada skripsi ini hanya mengkaji jumlah gas H₂ dan O₂ secara total yang dihasilkan oleh elektrolisa air, bukan secara parsial.
- Reaktor elektrolisa menggunakan 8 pleat elektroda; 4 positif dan 4 negatif
- Sumber energi untuk menghasilkan gas hasil elektrolisa menggunakan listrik PLN yang dikondisikan ulang sehingga bertegangan 13,8 V DC.

1.5. METODOLOGI PENULISAN

1. *Studi Literatur*

Studi literatur yang digunakan sebagai acuan dalam tugas akhir ini adalah buku, artikel, skripsi, dan internet. Literatur-literatur tersebut menjadi acuan dalam pengujian yang akan dilakukan.

2. *Persiapan alat uji*

Alat uji dipersiapkan untuk mendukung berlangsungnya proses pengujian pengambilan data yang diperlukan.

3. *Proses Pengambilan Data*

Pengujian dilakukan untuk melihat unjuk kerja sistem yang telah dibuat, dan melakukan modifikasi jika diperlukan.

4. *Analisis dan Kesimpulan Hasil Pengujian.*

Setelah pengambilan data, maka dilakukan proses pengolahan data yang ditampilkan lewat tabel maupun grafik sehingga didapat kesimpulan dari proses pengujian yang terlihat dari unjuk kerja sistem dan dapat memberikan saran dalam pengembangan desain selanjutnya.

5. *Sistematika Penulisan*

Penulisan tugas akhir ini mengikuti sistematika penulisan sebagai berikut:

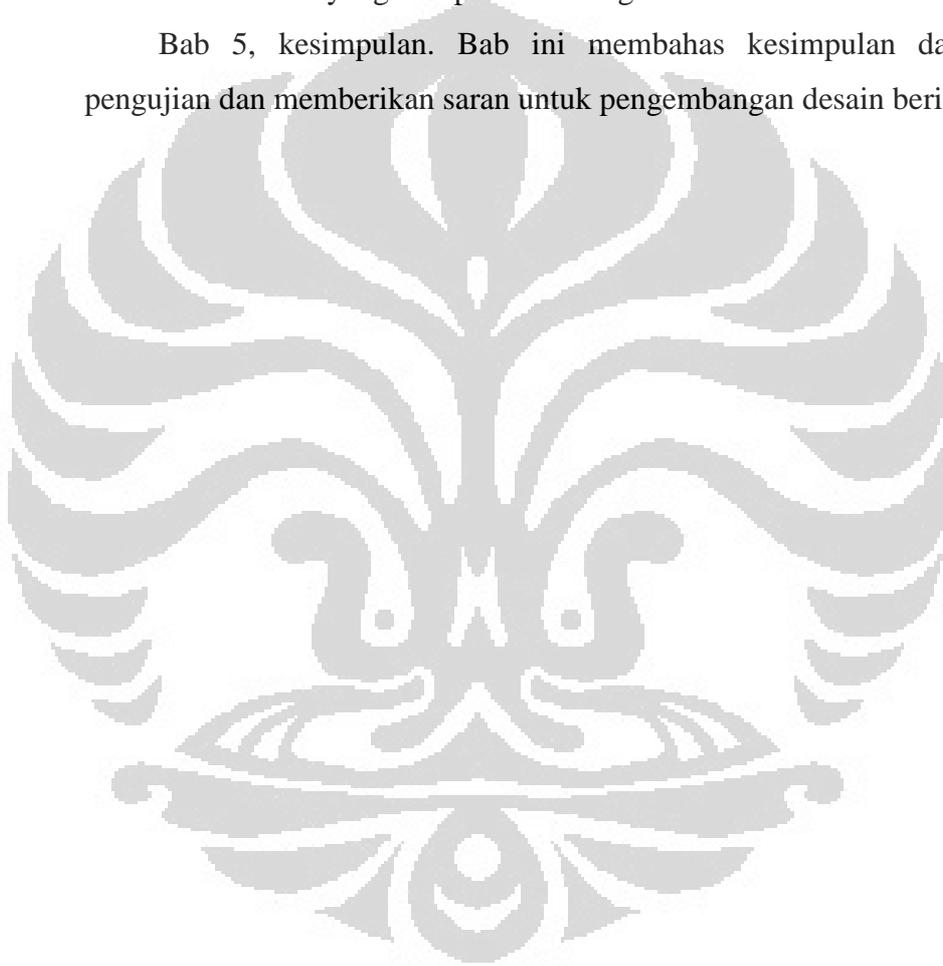
Bab 1, pendahuluan. Bab ini membahas tentang latar belakang, permasalahan yang timbul, tujuan, batasan masalah, metodologi penulisan, dan sistematika penulisan.

Bab 2, landasan teori. Bab ini membahas tentang konsep-konsep yang menjadi dasar teori dalam penelitian ini, seperti dasar teori elektrolisa air, dan dasar teori motor bakar.

Bab 3, pengujian reaktor, Bab ini membahas skema alat pengujian, prosedur dan metoda dalam pengujian dan pengambilan data untuk melihat unjuk kerja sistem yang telah dibuat.

Bab 4, hasil dan analisa. Bab ini membahas hasil pengujian yang dianalisa dari data yang berupa tabel dan grafik.

Bab 5, kesimpulan. Bab ini membahas kesimpulan dari hasil pengujian dan memberikan saran untuk pengembangan desain berikutnya.



BAB 2. DASAR TEORI

2.1. MOTOR OTTO

Motor pembakaran dalam (internal combustion engine) adalah mesin kalor yang berfungsi untuk mengkonversikan energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi energi mekanis dan prosesnya terjadi di dalam suatu ruang bakar yang tertutup. Energi kimia dalam bahan bakar terlebih dahulu diubah menjadi energi termal melalui proses pembakaran. Energi termal yang diproduksi akan menaikkan tekanan yang kemudian menggerakkan mekanisme pada mesin seperti torak, batang torak, dan poros engkol.

Berdasarkan metode penyalan campuran bahan bakar—udara, motor pembakaran dalam dapat diklasifikasikan menjadi spark ignition engine dan compression ignition engine. Dalam melakukan proses pembakaran tersebut, bagian-bagian motor yang telah disebutkan di atas akan melakukan gerakan berulang yang dinamakan siklus. Setiap siklus yang terjadi dalam mesin terdiri dari beberapa urutan langkah kerja.

Berdasarkan siklus langkah kerjanya, motor pembakaran dalam dapat diklasifikasikan menjadi motor 2 langkah dan motor 4 langkah. Berdasarkan pembatasan masalah, peralatan uji yang digunakan adalah motor Otto berbahan bakar bensin (spark ignition engine) dengan sistem 4 langkah. Motor Otto merupakan motor pembakaran dalam karena motor Otto melakukan proses pembakaran gas dan udara di dalam silinder untuk melakukan kerja mekanis.

Motor Otto dengan sistem Spark Ignition menggunakan bantuan bunga api untuk menyalakan atau membakar campuran bahan bakar—udara. Bunga api yang digunakan berasal dari busi. Busi akan menyala saat campuran bahan bakar—udara mencapai rasio kompresi, temperatur, dan tekanan tertentu sehingga akan terjadi reaksi pembakaran yang menghasilkan tenaga untuk mendorong torak bergerak bolak-balik. Siklus langkah kerja yang terjadi pada mesin jenis ini dinamakan siklus Otto dengan mempergunakan bahan bakar bensin.

2.2. SIKLUS KERJA MOTOR OTTO

Komponen-komponen utama dari sebuah motor Otto adalah:

1. Katup Masuk (*intake valve*)

Katup masuk adalah katup yang berfungsi untuk mengontrol pemasukan campuran udara-bahan bakar ke dalam silinder mesin dan mencegah terjadinya aliran balik ke dalam saluran masuk campuran udara-bahan bakar (*intake manifold*).

2. Katup Buang (*exhaust valve*)

Katup buang adalah katup yang mengontrol pengeluaran hasil pembakaran dari silinder mesin untuk dibuang keluar dan menjaga agar arah aliran yang mengalir hanya satu arah.

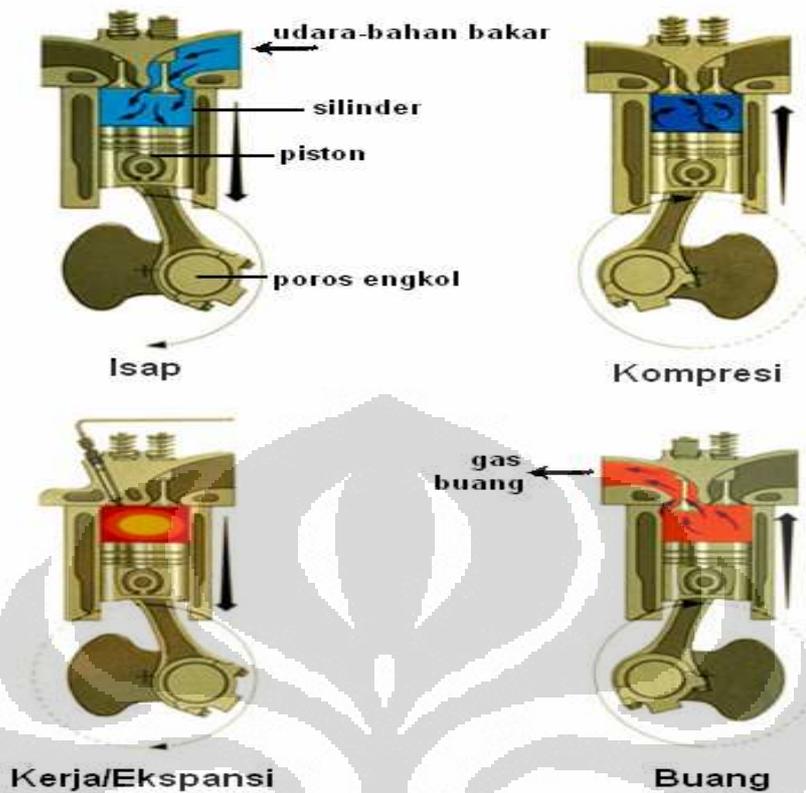
3. Torak

Torak adalah komponen berbentuk silinder yang bergerak naik turun di dalam silinder, dan berfungsi untuk mengubah tekanan di dalam ruang bakar menjadi gerak rotasi poros engkol.

4. Busi

Busi adalah komponen listrik yang digunakan untuk memicu pembakaran campuran udara-bahan bakar dengan menciptakan percikan listrik bertegangan tinggi pada celah elektroda.

Pada mesin 4 langkah, torak bergerak bolak-balik dalam silinder dari Titik Mati Bawah (TMA) menuju Titik Mati Bawah (TMB) sebanyak 4 kali atau 2 putaran engkol untuk memenuhi 1 siklus kerja. Jarak yang ditempuh torak selama gerakan bolak-balik disebut dengan stroke atau langkah torak. Langkah-langkah yang terdapat pada motor bensin 4 langkah adalah langkah isap, kompresi, kerja, dan buang.

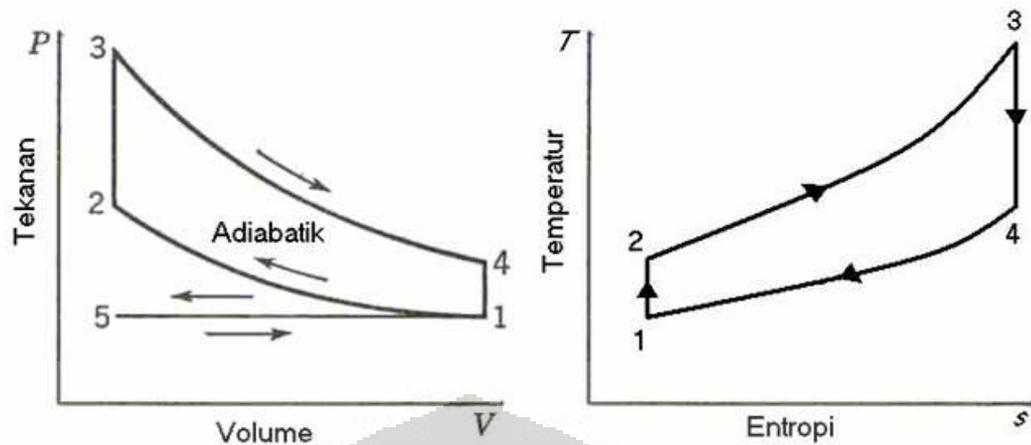


Gambar 2.1. Proses kerja motor Otto empat langkah

Sumber: www.bankspowder.com

Pada motor Otto 4 langkah ini, gas pembakaran hanya mendorong torak pada langkah ekspansi saja. Oleh karena itu, untuk memungkinkan gerak torak pada tiga langkah lainnya maka sebagian energi pembakaran selama langkah ekspansi diubah dan disimpan dalam bentuk energi kinetis roda gila (flywheel).

Siklus kerja motor Otto dapat digambarkan pada diagram indikator, yaitu diagram P-V (tekanan-volume) dan diagram T-S (tekanan-entropi). Diagram indikator ini berguna untuk melakukan analisa terhadap karakteristik internal motor Otto.



Gambar 2.2. Diagram P-V dan T-S ideal motor Otto empat langkah

Sumber: *Thermodynamics an Engineering Aproach Second Edition*

Langkah-langkah pada mesin Otto 4 langkah dapat dilihat pada gambar 1.1. Langkah-langkah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Langkah Isap (intake)

Selama langkah isap torak bergerak dari TMA menuju TMB, katup masuk terbuka dan katup buang tertutup. Gerakan torak memperbesar volume ruang bakar dan menciptakan ruang hampa (vacuum) dalam ruang bakar. Akibatnya campuran udara dan bahan bakar terisap masuk ke dalam ruang bakar melalui katup masuk. Langkah isap berakhir ketika torak telah mencapai TMB.

2. Langkah kompresi (compression)

Selama langkah kompresi katup isap tertutup dan torak bergerak kembali ke TMA dengan katup buang masih dalam keadaan tertutup. Gerakan torak tersebut mengakibatkan campuran udara dan bahan bakar yang ada di dalam ruang bakar tertekan akibat volume ruang bakar yang diperkecil, sehingga tekanan dan temperatur di dalam silinder meningkat.

3. Pembakaran (combustion)

Pada akhir langkah kompresi, busi pijar menyala sehingga campuran udara-bahan bakar yang telah memiliki tekanan dan temperatur tinggi terbakar. Pembakaran yang terjadi mengubah komposisi campuran udara-

bahan bakar menjadi produk pembakaran dan menaikkan temperatur dan tekanan dalam ruang bakar secara drastis.

4. Langkah kerja/ekspansi (expansion/power)

Tekanan tinggi hasil dari proses pembakaran campuran udara-bahan bakar mengakibatkan torak terdorong menjauhi TMA. Dorongan ini merupakan kerja keluaran dari siklus mesin Otto. Dengan Bergeraknya torak menuju TMB, volume silinder meningkat sehingga temperatur dan tekanan dalam ruang bakar turun.

5. Langkah buang (exhaust)

Katup buang terbuka ketika torak telah mencapai TMB. Torak terus bergerak kembali menuju TMA sehingga gas hasil pembakaran tertekan keluar dari ruang bakar melalui katup buang.

Berdasarkan gambar 1.2. perhitungan-perhitungan yang berhubungan dengan siklus ini adalah sebagai berikut :

Proses 1-2 kerja kompresi isentropik :

$$q_{1-2} = 0 \text{ dan } w_{1-2} = c_v (T_1 - T_2) \dots\dots\dots (2.1)$$

Proses 2-3 pemasukan kalor pada volume konstan

$$\begin{aligned} w_{2-3} &= 0 \\ Q_{2-3} &= Q_{in} = m_f Q_{HV} \eta_c \text{ atau} \\ &= m_m c_v (T_3 - T_2) = (m_a + m_f) c_v (T_3 - T_2) \dots\dots\dots (2.2) \\ q_{2-3} &= c_v (T_3 - T_2) \end{aligned}$$

Proses 3-4 kerja ekspansi isentropik yang dihasilkan

$$\begin{aligned} q_{3-4} &= 0 \\ w_{3-4} &= c_v (T_3 - T_4) \dots\dots\dots (2.3) \end{aligned}$$

Proses 4-1 pengeluaran gas buang pada volume konstan

$$\begin{aligned} w_{4-1} &= 0 \\ q_{4-1} &= q_{out} = c_v (T_4 - T_1) \dots\dots\dots (2.4) \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapat

$$w_{net} = w_{3-4} + w_{1-2} = q_{in} - q_{out} \dots \dots \dots (2.5)$$

besarnya efisiensi termal :

$$\eta_{th} = w_{net} / q_{in} = 1 - (q_{out} / q_{in}) \dots \dots \dots (2.6)$$

2.3. PARAMETER PRESTASI MESIN

Karakteristik unjuk kerja suatu motor bakar torak dinyatakan dalam beberapa parameter diantaranya adalah konsumsi bahan bakar, konsumsi bahan bakar spesifik, perbandingan bahan bakar—udara, daya keluaran. Berikut ditampilkan rumus-rumus dari beberapa parameter yang digunakan dalam menentukan unjuk kerja motor bakar torak:

1. Konsumsi Bahan Bakar/*Fuel Consumption* (FC)

$$BFC = \frac{V_f}{t} \cdot \frac{3600}{1000} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

BFC = konsumsi bahan bakar (L/jam)

V_f = konsumsi bahan bakar selama t detik (mL)

t = interval waktu pengukuran konsumsi bahan bakar (detik)

2. Laju Aliran massa Bahan Bakar ($\overset{\circ}{m}_f$)

$$\overset{\circ}{m}_f = \frac{BFC \cdot \rho_f}{3600 \cdot 1000} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan:

$\overset{\circ}{m}_f$ = laju aliran massa bahan bakar (kg/s)

BFC = konsumsi bahan bakar (L/jam)

ρ_f = massa jenis bahan bakar (kg/m³)

3. Laju aliran massa Udara ($\overset{o}{m}_a$)

$$\overset{o}{m}_a = \frac{AFR \bullet BFC \bullet \rho_f}{3600 \bullet 1000} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

AFR = rasio massa udara—bahan bakar (kg udara / kg bahan bakar)

$\overset{o}{m}_a$ = laju aliran massa udara (kg/s)

BFC = konsumsi bahan bakar (L/jam)

ρ_f = massa jenis bahan bakar (kg/m³), dalam hal ini adalah bensin = 754,2 kg/m³

4. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (BSFC)

$$BSFC = \frac{BFC}{BHP} \bullet \rho_f \dots\dots\dots(2.4)$$

keterangan :

BSFC = konsumsi bahan bakar spesifik (gr/hp.h)

BFC = konsumsi bahan bakar (l/h)

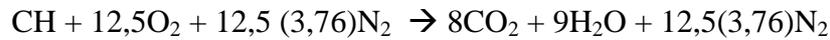
BHP = daya keluaran mesin (hp)

ρ_f = massa jenis bahan bakar (kg/m³)

2.4. PEMBAKARAN DAN EMISI PADA MOTOR OTTO

Bahan bakar yang digunakan pada Motor Pembakaran Dalam – jenis *Otto* biasanya sejenis Hidro Karbon (HC). Dengan menganggap bahwa bahan bakar

yang digunakan adalah *isooctane* maka reaksi pembakaran yang terjadi sebagai berikut :



Nilai 3,76 di dapat dari perbandingan %vol N₂ dengan %vol O₂ pada udara bebas yaitu 79% / 21% = 3,76 dengan menganggap gas lainnya seperti argon, CO₂ dan lainya sangat kecil.

Reaksi pembakaran tersebut terjadi di dalam ruang bakar pada tekanan dan suhu yang tinggi. Motor Bakar Dalam yang baik mempunyai komposisi gas buang berupa CO₂, H₂O, N₂ seperti reaksi diatas, namun adakalanya terjadi pembakaran yang kurang sempurna sehingga akan menghasilkan emisi gas berupa CO, HC, Gas tersebut juga bersifat beracun. Agar dapat terjadi pembakaran yang sempurna diperlukan perbandingan yang tepat antara massa bahan-bakar / massa udara (AFR). Jika reaksi tersebut diatas terjadi sempurna maka perbandingannya :

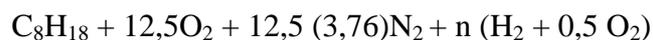
Massa bahan bakar (mf) adalah 1 kmol (114 kg/kmol) = 114 kg. Massa udara (ma) adalah 12,5 (4,76) kmol (29 kg/kmol) = 1725,5 kg , sehingga AFR untuk reaksi tersebut

$$\text{AFR} = \text{ma} / \text{mf} = 1725,5 / 114 = 15,13.$$

Nilai perbandingan inilah yang nantinya dipakai pada lembar data untuk nilai AFR stoikiometrinya.

2.4.1. Pembakaran Dengan Penambahan Gas Elektrolisa

Dalam percobaan yang dilakukan dengan penambahan gas elektrolisa air, bahan bakar yang masuk ke ruang bakar bukan hanya bensin saja melainkan bensin dan gas elektrolisa air (H₂ + 0,5 O₂) dan dengan asumsi bahwa jumlah gas H₂ + O₂ yang di hasilkan reaktor elektrolisa air adalah proporsional, maka stoikiometri pembakaran yang terjadi adalah:



Dengan menambah sejumlah $n \text{ H}_2 + 0,5 \text{ O}_2$, dimana nilai n adalah jumlah mol gas elektrolisa yang masuk ke ruang bakar. Penambahan gas elektrolisa ini secara ideal tidak mempengaruhi AFR standarnya, karena oksidator gas H_2 telah setimbang dari yang dihasilkan oleh reaktor elektrolisa air.

2.5. TERBENTUKNYA POLUTAN PADA ALIRAN GAS BUANG

Bahan pencemar (polutan) yang berasal dari kendaraan bermotor di bedakan menjadi polutan primer atau sekunder. Polutan primer seperti karbon monoksida (CO), sulfur oksida (Sox), nitrogen oksida (NOx) dan hidrokarbon (HC) langsung dibuang ke udara bebas dan mempertahankan bentuknya seperti pada saat pembuangan. Polutan sekunder seperti ozon (O₃) dan peroksiasetil nitrat (PAN) adalah polutan yang terbentuk di atmosfer melalui reaksi fotokimia, hidrolisis atau oksidasi.

2.5.1. Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida selalu terdapat didalam gas buang pada saat proses penguraian dan hanya ada pada knalpot kendaraan. CO merupakan produk dari pembakaran yang tidak tuntas yang disebabkan karena tidak seimbangnya jumlah udara pada rasio udara-bahan bakar (AFR) atau waktu penyelesaian pembakaran yang tidak tepat (Mathur). Pada campuran kaya, konsentrasi CO akan meningkat dikarenakan pembakaran yang tidak sempurna untuk menghasilkan CO₂. Pada beberapa hasil, konsentrasi CO yang terukur lebih besar dari konsentrasi kesetimbangan. Hal ini mengindikasikan bahwa terjadi pembentukan yang tidak sempurna pada langkah ekspansi (Benson).

Untuk menurunkan emisi CO dapat dilakukan dengan menjalankan mesin dengan campuran kurus yang menyebabkan hilangnya tenaga atau dengan cara menambahkan alat pada knalpot untuk mengoksidasi CO yang dihasilkan mesin. Secara teoritis, kadar CO pada gas buang dapat dihilangkan dengan menggunakan AFR lebih besar dari 16:1. Namun pada kenyataannya kadar CO akan selalu terdapat pada gas buang walaupun pada campuran yang kurus sekalipun.

Persentase CO pada gas buang meningkat pada saat idle dan menurun seiring dengan bertambahnya kecepatan dan pada saat kecepatan konstan. Pada saat perlambatan dimana terjadi penutupan throttle yang menyebabkan

berkurangnya suplai oksigen ke mesin akan mengakibatkan tingginya kadar CO yang dihasilkan.

2.5.2. Hidrokarbon (HC)

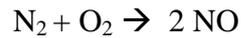
Emisi hidrokarbon yang tidak terbakar merupakan hal berkaitan langsung dengan pembakaran yang tidak sempurna. Bentuk emisi hidrokarbon dipengaruhi oleh banyak variable disain dan operasi. Salah satunya dapat disebabkan karena penyalaan yang tidak stabil (misfire). Oksidasi dari hidrokarbon merupakan proses rantai dengan hasil lanjutan berupa aldehid (Benson). Beberapa jenis aldehid bersifat stabil dan keluar bersama gas buang. Sumber utama dari pembentukan hidrokarbon adalah wall quenching yang diamati pada saat api menjalar kearah dinding, terdapat lapisan tipis yang tidak terjadi reaksi kimia kecuali terjadinya pemecahan bahan bakar. Lapisan tipis ini mengandung hidrokarbon yang tidak terbakar atau disebut juga quench distance.

Besarnya quench distance ini bervariasi antara 0,008 sampai 0,038 cm yang dipengaruhi oleh temperature campuran, tekanan, AFR, temperature permukaan dinding dan endapan pembakaran. Besarnya konsentrasi hidrokarbon didalam gas buang sama dengan besar konsentrasi CO, yaitu tinggi pada saat campuran kaya dan berkurang pada titik temperatur tertinggi.

2.5.3. Nitrogen Oksida (NOx)

Bahan pencemar (polutan) yang berasal dari kendaraan bermotor di bedakan menjadi polutan primer atau sekunder. Polutan primer seperti sulfur oksida (Sox), nitrogen oksida (NOx) dan hidrokarbon (HC) langsung dibuangkan ke udara bebas dan mempertahankan bentuknya seperti pada saat pembuangan. Polutan sekunder seperti ozon (O3) dan peroksi asetil nitrat (PAN) adalah polutan yang terbentuk di atmosfer melalui reaksi fotokimia, hidrolisis atau oksidasi.

Komponen utama dari NOx adalah nitrogen oksida (NO) yang dapat dikonversikan lagi menjadi nitrogen dioksida (NO2) dan nitrogen tetraoksida (N2O4). Oksida-oksida nitrogen (NOx) biasanya dihasilkan dari proses pembakaran pada suhu tinggi dari bahan bakar gas, minyak atau batu bara. Suhu yang tinggi pada ruang bakar akan menyebabkan sebagian N2 bereaksi dengan O2. Jika terdapat N2 dan O2 pada temperatur lebih dari 1800 °C, akan terjadi reaksi pembentukan gas NO sebagai berikut:



Di udara, NO mudah berubah menjadi NO₂. Komposisi NO_x di dalam gas buang terdiri dari 95 % NO, 3—4 % NO₂, dan sisanya adalah N₂O serta N₂O₃.

Tidak seperti gas polutan lainnya yang mempunyai daya destruktif yang tinggi terhadap kesehatan manusia, NO merupakan gas inert dan ‘hanya’ bersifat racun. Sama halnya dengan CO, NO mempunyai afinitas yang tinggi terhadap oksigen dibandingkan dengan hemoglobin dalam darah. Dengan demikian pemaparan terhadap NO dapat mengurangi kemampuan darah membawa oksigen sehingga tubuh kekurangan oksigen dan mengganggu fungsi metabolisme. Namun NO₂ dapat menimbulkan iritasi terhadap paru-paru.

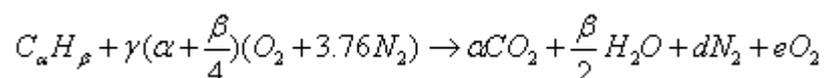
2.5.4. Udara Berlebih (Excess Air)

Perhitungan-perhitungan pembakaran harus terkait dengan persyaratan perlengkapan pembakaran aktual di mana perlengkapan tersebut masih laik pakai. Nilai udara stoikiometri mendefinisikan suatu proses pembakaran dengan efisiensi 100%, sehingga tidak ada lagi udara yang terbuang. Pada kenyataannya, untuk mencapai pembakaran sempurna, harus disediakan sejumlah udara yang lebih besar daripada kebutuhan stoikiometri. Hal ini dikarenakan sulitnya mendapatkan pencampuran yang memuaskan antara bahan bakar dengan udara pada proses pembakaran aktual. Udara perlu diberikan dalam jumlah berlebih untuk memastikan terbakarnya seluruh bahan bakar yang ada secara sempurna.

$$\% \text{ udara teoritis} = \left(\frac{m}{m_{st}} \right) 100 = \left(\frac{N}{N_{st}} \right) 100$$

$$\% \text{ udara lebih} = \% \text{ udara teoritis} - 100 \quad \dots \dots \dots (2.5)$$

dengan udara berlebih, pembakaran terjadi pada kondisi bahan bakar yang “kurus” (lean). Sehingga udara berlebih (excess air) yang belum bereaksi muncul pada produk pembakaran.



Untuk pembakaran bahan bakar yang berwujud gas, total kebutuhan udara yang diperlukan cukup 5% di atas kebutuhan stoikiometri. Sehingga nilai γ adalah $(100 + 5) \% = 1,05$

2.6. ELEKTROLISA AIR

Elektrolisa air adalah proses pemecahan air (H_2O) menjadi oksigen (O_2) dan gas hidrogen (H_2) dengan cara melewatkan arus listrik pada air. Proses elektrolisis ini digunakan pada industri yang membutuhkan gas hidrogen.

Arus listrik dihubungkan pada dua elektroda, atau dua buah plat, (biasanya dari bahan logam seperti platinum atau stainless steel) yang ditempatkan didalam air. Hidrogen akan timbul pada katoda (elektroda negative, dimana elektron dipompakan pada air), dan oksigen akan timbul pada anoda (elektroda positif). Pembentukan hidrogen dua kali lebih banyak dari oksigen, dan keduanya proporsional pada jumlah arus listrik yang dialirkan. Elektrolisis pada air murni memiliki laju yang sangat lambat, dan hanya terjadi melalui proses ionisasi secara sendirinya (self-ionization of water). Air murni memiliki konduktivitas listrik sekitar satu juta kali dari air laut. Dan dapat meningkat secara cepat dengan menambahkan elektrolit seperti garam, asam atau basa).

Elektrolisis pertama kali dilakukan oleh William Nicholson dan Anthony Carlisle sekitar tahun 1800.

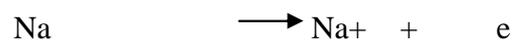
2.6.1 Pelepasan dan Penangkapan Elektron

Pada peristiwa oksidasi Fe menjadi Fe_2O_3 , atom Fe melepaskan elektron menjadi ion Fe^{3+} . Jadi pengertian oksidasi dapat diperluas menjadi pelepasan elektron. Sebaliknya pada peristiwa reduksi Fe_2O_3 menjadi Fe, ion Fe^{3+} menangkap elektron menjadi atom Fe. Maka pengertian reduksi juga dapat diperluas menjadi peristiwa penangkapan elektron.

Dengan pengertian yang lebih luas ini, konsep oksidasi dan reduksi tidaklah terbatas pada reaksi-reaksi yang melibatkan oksigen saja.

Oksidasi adalah reaksi pelepasan elektron.

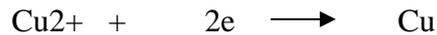
Contoh reaksi oksidasi :



Reduksi adalah reaksi penerimaan atau penangkapan elektron.

Contoh reaksi reduksi :

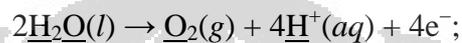




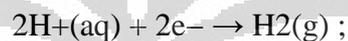
Pada reaksi oksidasi, elektron berada di ruas kanan

Pada reaksi reduksi,, elektron berada di ruas kiri

Perlu diingat bahwa “melepaskan elektron” berarti memberikan elektron kepada atom lain. Sedangkan “menangkap elektron” berarti menerima elektron dari atom lain. Jadi peristiwa oksidasi suatu atom selalu disertai oleh peristiwa reduksi atom yang lain. Sebagai contoh, kita lihat reaksi oksidasi



Reaksi ini harus mempunyai pasangan berupa reaksi reduksi agar jelas kepada siapa elektron itu diberikan, misalnya :



Dengan demikian, kedua reaksi diatas masing-masing baru merupakan setengah reaksi, sedangkan reaksi lengkapnya adalah :



Reaksi lengkap ini disebut reaksi redoks (singkatan dari reduksi-oksidasi) sebab mengandung dua peristiwa sekaligus : H₂O teroksidasi menjadi O₂ dan 4H⁺ tereduksi menjadi 2H₂. Zat yang mengalami oksidasi (melepaskan elektron) disebut reduktor (pereduksi), sebab ia menyebabkan zat lain mengalami reduksi, sebaliknya zat yang mengalami reduksi disebut oksidator (pengoksidasi). Pada contoh reaksi diatas : H₂O merupakan reduktor, sedangkan 4H⁺ merupakan oksidator.

Reduktor = Zat yang mengalami oksidasi

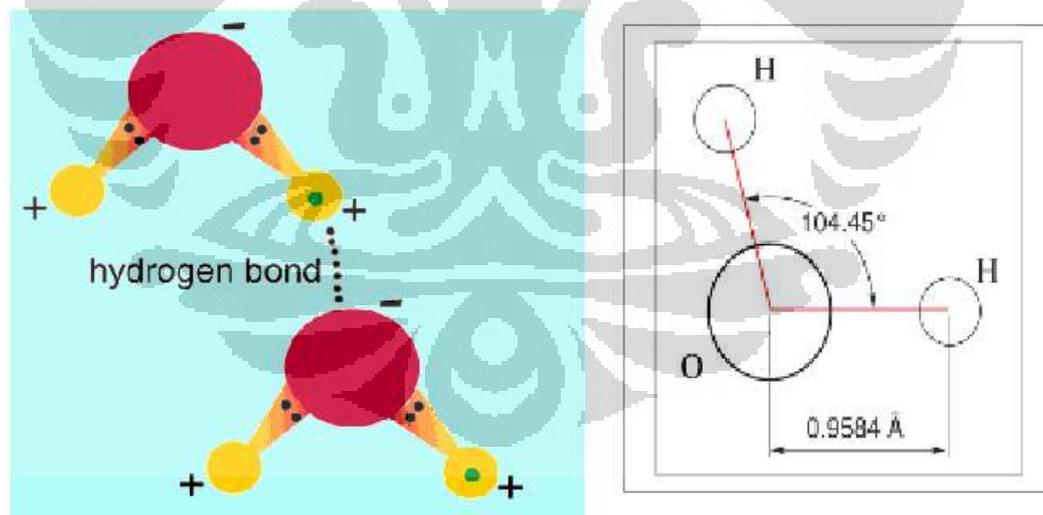
Oksidator = Zat yang mengalami reduksi

2.7. KARAKTERISTIK AIR

Air adalah substansi kimia dengan rumus kimia H₂O: satu molekul air tersusun atas dua atom hidrogen yang terikat secara kovalen pada satu atom oksigen. Air bersifat tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau pada kondisi standar, yaitu pada tekanan 100 kPa (1 bar) and temperatur 273,15 K (0 °C). Zat kimia ini merupakan suatu pelarut yang penting, yang memiliki kemampuan untuk melarutkan banyak zat kimia lainnya, seperti garam-garam, gula, asam, beberapa jenis gas dan banyak macam molekul organik.

Tabel 2.1. Sifat-sifat air

Sifat-sifat air	
Nama lain	Aqua, dihidrogen monoksida, hidrogen hidroksida
Rumus molekul	H ₂ O
Masa molar	18.0153 g/mol
Densitas dan fase	0.998 g/cm ³ (cairan pada 20 °C) 0.92 g/cm ³ (padatan)
Titik beku	0 °C (273.15 K) (32 °F)
Titik didih	100 °C (373.15 K) (212 °F)
Kalor jenis	4184 J/(kg·K) (cairan pada 20 °C)



Gambar 2.3. ikatan kima air

Sumber: wikipedia.org

Alasan mengapa hidrogen berikatan dengan oksigen membentuk fasa berkeadaan cair, adalah karena oksigen lebih bersifat elektronegatif ketimbang elemen-elemen lain tersebut (kecuali fluor). Tarikan atom oksigen pada elektron-

elektron ikatan jauh lebih kuat dari pada yang dilakukan oleh atom hidrogen, meninggalkan jumlah muatan positif pada kedua atom hidrogen, dan jumlah muatan negatif pada atom oksigen. Adanya muatan pada tiap-tiap atom tersebut membuat molekul air memiliki sejumlah momen dipol. Gaya tarik-menarik listrik antar molekul-molekul air akibat adanya dipol ini membuat masing-masing molekul saling berdekatan, membuatnya sulit untuk dipisahkan dan yang pada akhirnya menaikkan titik didih air. Gaya tarik-menarik ini disebut sebagai ikatan hidrogen.

Air sering disebut sebagai pelarut universal karena air melarutkan banyak zat kimia. Air berada dalam kesetimbangan dinamis antara fase cair dan padat di bawah tekanan dan temperatur standar. Dalam bentuk ion, air dapat dideskripsikan sebagai sebuah ion hidrogen (H^+) yang berasosiasi (berikatan) dengan sebuah ion hidroksida (OH^-)

2.7.1 Hidrogen

Hidrogen adalah unsur kimia pada tabel periodik yang memiliki simbol H dan nomor atom 1. Pada suhu dan tekanan standar, hidrogen tidak berwarna, tidak berbau, bersifat non-logam, bervalensi tunggal, dan merupakan gas diatomik yang sangat mudah terbakar. Dengan massa atom 1,00794 amu, hidrogen adalah unsur teringan di dunia. Hidrogen juga adalah unsur paling melimpah dengan persentase kira-kira 75% dari total massa unsur alam semesta

Gas hidrogen sangat mudah terbakar dan akan terbakar pada konsentrasi serendah 4% H_2 di udara bebas. Ketika dicampur dengan oksigen dalam berbagai perbandingan, hidrogen meledak seketika disulut dengan api dan akan meledak sendiri pada temperatur $560\text{ }^\circ\text{C}$. Lidah api hasil pembakaran hidrogen-oksigen murni memancarkan gelombang ultraviolet dan hampir tidak terlihat dengan mata telanjang. Oleh karena itu, sangatlah sulit mendeteksi terjadinya kebocoran hidrogen secara visual.

Tabel 2.2 Sifat kimia dan fisika hidrogen

Sifat kimia dan fisika hidrogen	
<u>Fase</u>	<u>gas</u>
<u>Massa jenis</u>	($0^\circ\text{C}; 101,325\text{kPa}$) $0,08988\text{ g/L}$
<u>Titik lebur</u>	$14,01\text{ K}$ ($-259,14\text{ }^\circ\text{C}$, $-434,45^\circ\text{F}$)

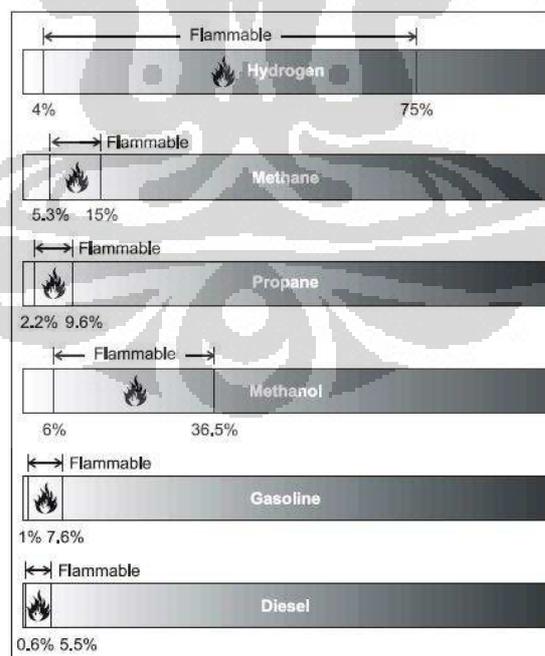
<u>Titik didih</u>	20,28 K (-252,87 °C, -423,17 °F)
<u>Kalor peleburan</u>	(H ₂) 0,117 kJ/mol
<u>Kapasitas kalor</u>	(25 °C) (H ₂) 28,836 J/(mol·K)
<u>Suhu kritis</u>	32,19 K
<u>Tekanan kritis</u>	1,315 MPa
<u>Densitas kritis</u>	30,12 g/L

Untuk mempersingkat penjelasan, maka keunggulan-keunggulan Hidrogen jika dibandingkan bahan bakar lain dijelaskan dengan mengunakan tabel-tabel seperti yang tercantum di bawah ini ;

Tabel 2.3. Nilai oktan berbagai bahan bakar

Fuel	Octane Number
Hydrogen	130+ (lean burn)
Methane	125
Propane	105
Octane	100
Gasoline	87
Diesel	30

Sumber: www.ingenuitycreations.com



Gambar 2.4. Sifat kemampuan bakar berbagai jenis bahan bakar

Sumber: www.ingenuitycreations.com

Dari keterangan tabel di atas yang membandingkan nilai-nilai berbagai bahan bakar, maka sudah dapat dipastikan bahwa Hidrogen merupakan bahan bakar yang sangat baik.

2.7.2 Oksigen

Oksigen atau zat asam adalah unsur kimia dalam sistem tabel periodik yang mempunyai lambang O dan nomor atom 8. Elemen sangat biasa dan ada di mana-mana, ditemukan tak hanya di Bumi tetapi di seluruh alam semesta. Di Bumi, ia biasanya berikatan dengan elemen lain secara kovalen atau ionik. Oksigen adalah satu dari dua komponen utama udara. Ia dihasilkan oleh tanaman selama fotosintesis, dan sangat diperlukan untuk pernafasan aerobik pada hewan dan manusia.

Tabel 2.4. Sifat Kimia dan fisika oksigen

Sifat kimia dan fisika oksigen	
<u>Fase</u>	gas
<u>Massa jenis</u>	(0 °C; 101,325 kPa) 1,429 g/L
<u>Titik lebur</u>	54,36 K (-218,79 °C, -361,82 °F)
<u>Titik didih</u>	90,20 K (-182,95 °C, -297,31 °F)
<u>Kalor peleburan</u>	(O ₂) 0,444 kJ/mol
<u>Kapasitas kalor</u>	(25 °C) (O ₂) 29,378 J/(mol·K)
<u>Suhu kritis</u>	(O ₂) 6,82 kJ/mol

2.8. HUKUM-HUKUM FISIKA DAN KIMIA

2.8.1 Hukum Kekekalan Energi

"Energi tidak dapat diciptakan dan juga tidak dapat dimusnahkan"

Jadi perubahan bentuk suatu energi dari bentuk yang satu ke bentuk yang lain tidak merubah jumlah atau besar energi secara keseluruhan. Rumus atau persamaan mekanik (berhubungan dengan hukum kekekalan energi):

$$E_m = E_p + E_k \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

E_m = energi mekanik

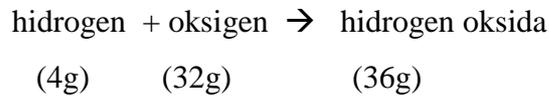
E_p = energi kinetik

E_k = energi kinetik

2.8.2 Hukum Kekekalan Massa (Hukum Lavoiser)

"Massa zat-zat sebelum dan sesudah reaksi adalah tetap".

Contoh:



2.8.3 Persamaan-Persamaan Gas Ideal

Untuk gas ideal berlaku persamaan :

$$PV = nRT \dots\dots\dots (2.7)$$

keterangan:

P = tekanan gas (atmosfir)

V = volume gas (liter)

n = mol gas

R = tetapan gas universal = 0.082 lt.atm/mol Kelvin

T = suhu mutlak (Kelvin)

Perubahan-perubahan dari P, V dan T dari keadaan 1 ke keadaan 2 dengan kondisi-kondisi tertentu dicerminkan dengan hukum-hukum berikut:

2.8.3.1. Hukum Boyle

Hukum ini diturunkan dari persamaan keadaan gas ideal dengan $n_1 = n_2$ dan $T_1 = T_2$; sehingga diperoleh : $P_1 V_1 = P_2 V_2$

2.8.3.2. Hukum Gay-Lussac

"Volume gas-gas yang bereaksi den volume gas-gas hasil reaksi bila diukur pada suhu dan tekanan yang sama, akan berbanding sebagai bilangan bulat dan sederhana". Jadi untuk: $P_1 = P_2$ dan $T_1 = T_2$ berlaku : $V_1 / V_2 = n_1 / n_2$.

2.8.3.3. Hukum Boyle –Gay Lussac

Hukum ini merupakan perluasan hukum terdahulu den diturunkan dengan keadaan harga $n = n_2$ sehingga diperoleh persamaan:

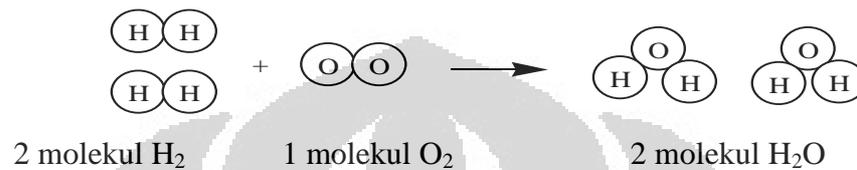
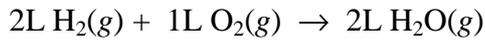
$$P_1 \cdot V_1 / T_1 = P_2 \cdot V_2 / T_2 \dots\dots\dots (2.8)$$

2.8.3.4. Hukum Avogadro

Yaitu : “Pada suhu dan tekanan yang sama, gas-gas yang volumenya sama mengandung jumlah partikel yang sama pula.”

Contoh :

Pada pembentukan molekul H₂O



2.8.3.5. Hukum Faraday elektrolisa air

"Massa zat yang terbentuk pada masing-masing elektroda sebanding dengan kuat arus/ arus listrik yang mengalir pada elektrolisis tersebut".

Rumus:

$$m = e \cdot I \cdot t / F \dots\dots\dots (2.9)$$

$$F = 96.500$$

$$q = i \cdot t$$

m = massa zat yang dihasilkan (gram)

e = berat ekuivalen = Ar/ Valensi= Mr/Valensi

i = kuat arus listrik (amper)

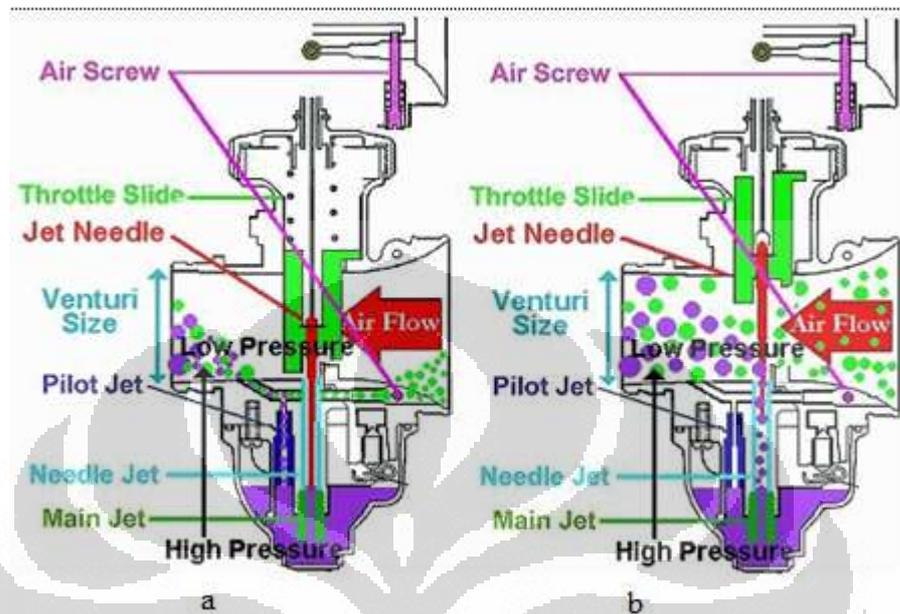
t = waktu (detik)

q = muatan listrik (coulomb)

2.9. PRINSIP KERJA KARBURATOR

Karburator adalah bagian penting dari motor bakar. Karburator merupakan sebuah alat yang berfungsi untuk mengabutkan bahan bakar cair dan mencampur udara dengan bahan bakar cair tersebut. Idealnya, karburator harus mencampur bahan bakar cair dengan udara dengan perbandingan sekitar 14,7:1, dengan kata lain, udara memiliki jumlah volume hampir 15 kali lebih banyak dari bahan bakar cair. Namun saat keadaan mesin dingin, terkadang dibutuhkan kandungan bahan

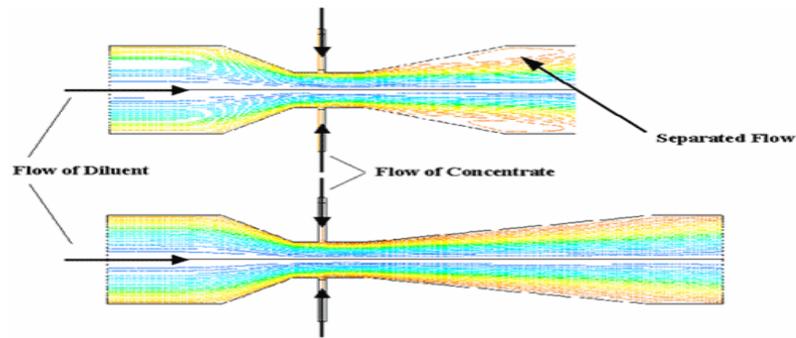
bakar yang lebih kaya untuk bisa menyalakan mesin. Karburator dapat menyesuaikan kebutuhan ini.



Gambar 2.5 kinerja karburator, (a) idle, (b) throttle terbuka lebar

Sumber: berita-ipitek.blogspot.com/feeds/posts/default

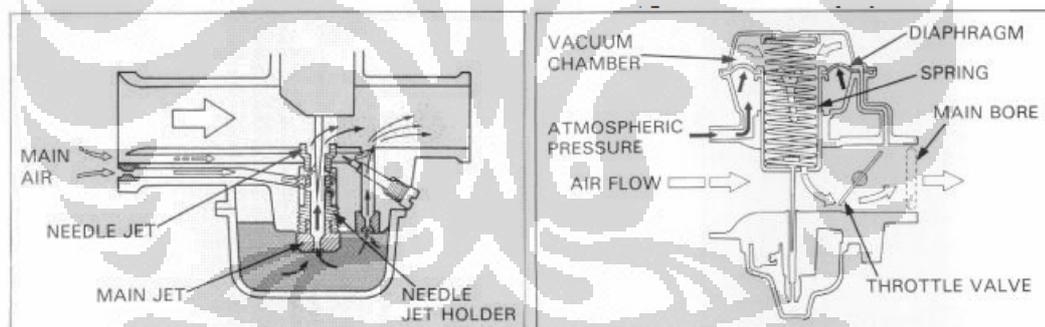
Karburator bekerja menggunakan prinsip kerja bernouli: semakin cepat udara bergerak, semakin kecil tekanan statisnya, dan semakin besar tekanan dinamiknya. Pengemudi kendaraan menaikkan dan menurunkan kecepatan putar mesin dengan menggunakan throttle, namun throttle tidak secara langsung mengontrol aliran bahan bakar cair. Throttle mengatur bukaan bahan bakar dan bukaan udara yang masuk ke karburator sehingga udara dengan leluasa dapat lewat untuk bergabung dengan bahan bakar. Dengan menaikkan jumlah udara yang masuk melalui karburator, maka semakin cepat aliran udara yang dapat dibuat, dengan demikian semakin kecil tekanan statis yang terjadi dan semakin banyak campuran bahan-bakar cair dan udara yang masuk ke intake manifold. Semakin banyak campuran bahan bakar dengan udara, maka ledakkan di ruang bakar akan semakin besar dan kecepatan putar mesin pun akan semakin cepat.



Gambar 2.6 Cara kerja venturi, kecepatan tinggi fluida menurunkan tekanan statisnya.

Sumber: www.processinnovation.com/venturi.htm

Karburator dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu karburator dengan arah aliran udara dari bawah ke atas (updraft) dan arah aliran dari atas ke bawah (downdraft), ada juga arah aliran dari samping (sidedraft). Updraft memiliki keunggulan yaitu tidak akan terjadi “banjir” bahan-bakar pada mesin karena kelebihan bahan bakar dalam bentuk droplet akan jatuh menjauhi intake manifold. Sistem ini juga memungkinkan pemasangan saringan udara dengan prendaman oli, sistem ini efektif jika tidak ada kertas saringan udara.



Gambar 2.7. Skema sederhana karburator

Sumber: www.e-dukasi.net

Berikut adalah komponen-komponen utama dari karburator:

1. Air screw

Air screw berfungsi untuk mengatur banyaknya jumlah udara yang masuk melalui karburator saat keadaan idle.

2. Main jet

Berfungsi sebagai jalur utama masuknya bahan bakar ke karburator. Main jet berfungsi saat jet needle membuka lebar aliran udara. Aliran udara yang banyak menyedot bahan bakar cair dari float chamber melewati main jet

untuk di kabutkan hingga bercampur dengan udara dan dialirkan ke intake manifold.

3. Pilot jet

Berfungsi sebagai jalur utama masuknya bahan bakar ke karburator saat posisi idle. Pilot jet menggantikan fungsi main jet saat idle karena saat idle throttle utama hampir tertutup sepenuhnya sehingga main jet hampir tidak berfungsi.

4. Pelampung

Berfungsi untuk mengangkat jarum penutup aliran bahan bakar. Jika jarum terangkat maka jarum akan menghalangi aliran bahan bakar baru untuk memasuki float chamber. Pelampung akan terangkat jika float chamber sudah terisi bahan bakar. jika bahan bakar berkurang, pelampung akan turun dan jarum penutup membuka jalan bagi bahan bakar baru untuk memenuhi float chamber.

5. Jet needle

Berfungsi untuk membuka dan menutup aliran bahan bakar pada main jet. Jika jet needle ditarik maka akan membuka jalur bagi main jet untuk mengalirkan bahan-bakar cair

6. Float chamber

Adalah penampung bahan bakar cair yang akan dikabutkan oleh pilot jet dan main jet. Float chamber merupakan tempat pelampung berada dan jarum penutup bahan bakar berada. Pilot jet dan main jet mengambil bahan bakar dari tempat ini.

7. Air screw

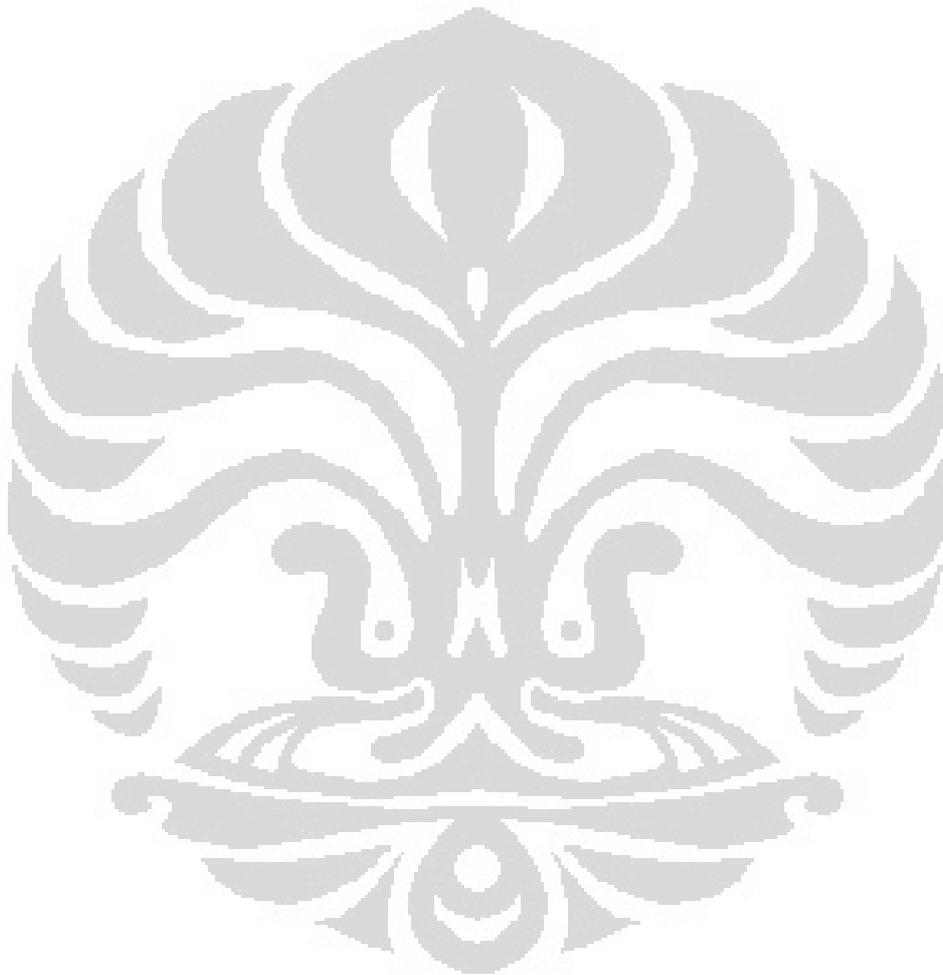
Adalah sebuah sekrup yang berada pada karburator untuk mengatur besarnya aliran udara minimal yang masuk ke karburator saat keadaan idle. Air screw memainkan peranan penting untuk mengatur komposisi campuran udara dan bahan bakar saat kecepatan putar mesin idle dengan cara mengatur jumlah udara yang masuk dan melewati pilot jet.

8. Throttle screw

Adalah sebuah sekrup yang berada pada karburator untuk pembukaan throttle minimal. Throttle screw memainkan peranan penting untuk mengatur kecepatan putar mesin saat idle.

9. Ruang venturi

Ruang venturi merupakan rongga utama dari karburator yang berbentuk tabung venturi. Ruang venturi merupakan tempat bercampurnya bahan bakar dengan udara.



BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 PENELITIAN

Untuk mencapai tujuan yang ingin dicapai maka dalam penelitian ini akan digunakan metode penelitian eksperimental. Metode ini akan menguji pengaruh gas hasil elektrolisa air pada pembakaran motor bakar, khususnya sepeda motor Honda Supra X 125 cc, dengan cara membandingkan konsumsi BBM dan gas buang motor bakar dengan penambahan gas elektrolisa air, sebelum dan setelah ukuran pilot jet diperkecil. Ukuran pilot jet diperkecil dari 35 ke 30.

Pada eksperimen ini pengujian dilakukan dengan memvariasikan putaran motor (*variable speed*).

3.2 ALAT UJI

Peralatan uji yang digunakan pada penelitian ini antara lain adalah:

1. Sepeda motor Honda Supra X 125 cc dengan spesifikasi:

1.1. Dimensi

Panjang : 1.889 mm

Lebar : 702 mm

Tinggi : 1.094 mm

1.2. Kapasitas

Jarak sumbu roda : 1.242 mm

Oli mesin : 0,9 liter

Tangki bahan bakar : 3,7 liter

1.3. Mesin

Diameter x langkah : 52,4 x 57,9 mm

Perbandingan kompresi : 9,0 : 1

Volume langkah : 124,8 cm³

Jarak renggang busi : 0,80 – 0,90 mm

1.4. Transmisi

Reduksi primer : 3,350

Perbandingan gigi, gigi 1 : 2,500

Gigi 2 : 1,550

Gigi 3 : 1,150

Gigi 4 : 0,923

Reduksi akhir : 2,500



Gambar 3.1 Sepeda motor Honda Supra X 125 cc

2. Tabung reaksi elektrolisa

Tabung reaksi elektrolisa air merupakan tempat terjadinya peristiwa elektrolisa air. Tabung ini memiliki kapasitas isi 1 liter air. Didalam tabung reaksi ini terdapat 8 pelat elektrolida berukuran 5 x 15 cm, 4 positif dan 4 negatif, yang disusun paralel saling bergantian



Gambar 3.2. Generator set ET 1500.

Tabung elektrolisa tersebut diisi air keran Departemen Teknik Mesin sebanyak 1 liter kemudian dicampur dengan elektrolit KOH sebanyak 0,35 gram, setelah itu ditutup hingga rapat dan diisolasi dengan menggunakan lilin agar tidak bocor.

3. Tabung ukur gas hasil elektrolisa air



Gambar 3.3. Tabung ukur gas keluaran elektrolisa air

Diameter dalam	:	6,2 cm
Tinggi	:	300 cm
Volume tiap penurunan 1 cm	:	30,19 cm ³

4. Spesifikasi Gas Analyzer

Merek	:	Tecnotest
Model	:	488
Jenis	:	Multigas Tester dengan infra merah
Negara pembuat	:	Italia
Tahun produksi	:	1997
Jangkauan pengukuran		
- CO	:	0– 9,99 % Vol res 0,01
- CO ₂	:	0 – 19,99 % Vol res 0,1
- HC	:	0 – 9999 ppm vol res 1
- O ₂	:	0 – 4 % Vol res 0,01
	:	4 – 25,0 % Vol res 0,1
- NO _x	:	0 – 2000 ppm Vol res 5
- Lambda	:	0,500 – 2,000 res 0,001
- Temp. operasi	:	5 – 40 °C
Hisapan gas yang dites	:	8 L/menit
Waktu respons	:	< 10 detik (untuk panjang probe 3 m)
Dimensi	:	400 x 180 x 420 mm
Berat	:	13,5 kg
Waktu pemanasan	:	maksimal 15 menit
Sumber tegangan	:	110/220/240 V, 50/60 Hz
Tes kebocoran dan kalibrasi otomatis.		
Kontrol aliran internal dan kalibrasi secara otomatis.		



Gambar 3.4. Technotest 488 plus gas analyzer.

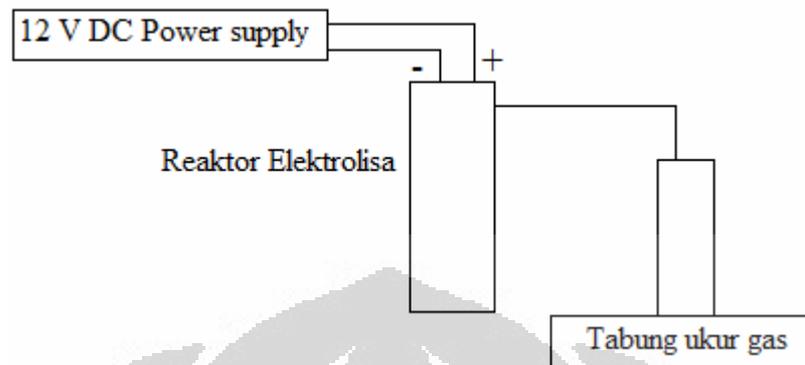
5. DC power supply
 - Voltase : 13,8 V, 24 V
 - Arus maksimal : 50 A
 - Power source : 220 V / 50 Hz
6. Timbangan digital AND FX 4000
7. Gelas ukur 50 ml, ketelitian 0.1 ml
8. Stopwatch digital

3.3 SKEMATIK ALAT UJI

Sebelum melakukan pengujian pada motor bakar, perlu didapatkan seberapa besar laju produksi gas elektrolisa air yang dihasilkan oleh reaktor. Untuk mengukur lajunya, gas hasil elektrolisa air yang dihasilkan oleh reaktor di alirkan ke tabung ukur gas dan diukur produksinya mengikuti skematik berikut.

Cara kerja sistem ini menggunakan prinsip dasar fluida gas dan cair. Fluida cair tidak akan keluar dari tabung ukur jika tempatnya tidak digantikan oleh fluida gas (tidak ada keadaan vakum dalam tabung ukur). Fluida gas yang menggantikan fluida cair (air) pada tabung ukur adalah gas hasil elektrolisa air. Gas

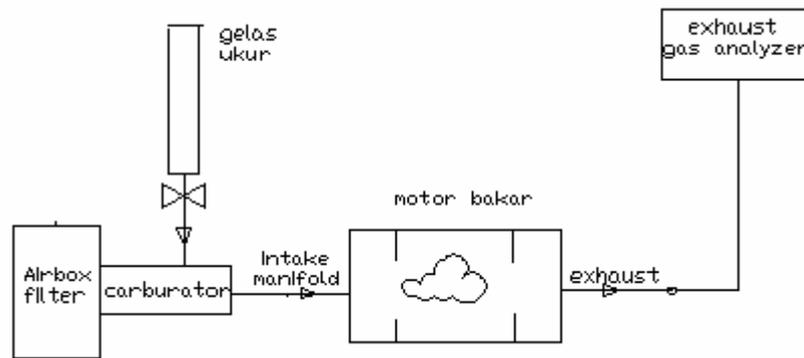
ini dialirkan dari reaktor menuju tabung ukur dan mengakibatkan air keluar dari tabung ukur menyisakan gas didalam. Tabung ukur



Gambar 3.5. Skema pengukuran volume gas hasil elektrolisa.

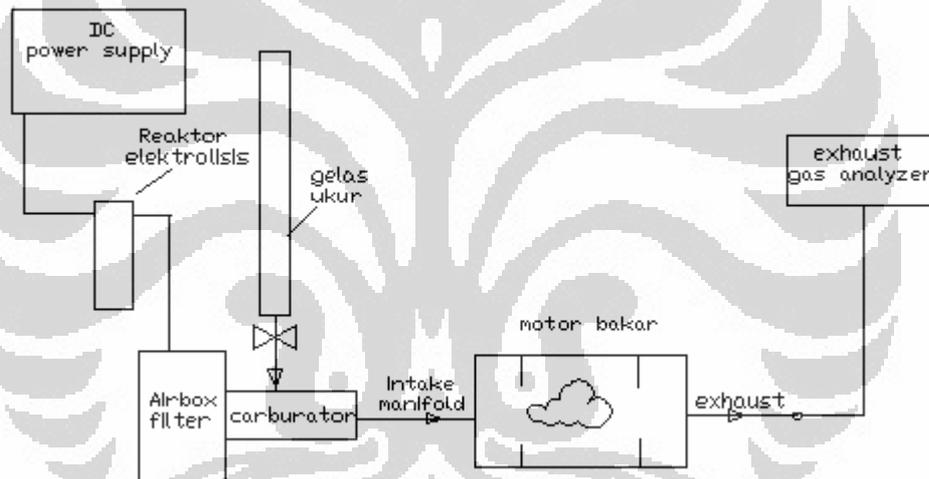
Pengoperasian pengujian motor bakar empat langkah dengan bahan bakar minyak campur gas hasil elektrolisa air ini dilakukan dengan menggunakan media sepeda motor Honda Supra X 125 cc. Dalam pelaksanaannya pengujian yang pertama dilakukan dalam 4 macam keadaan:

1. Menggunakan bahan bakar pertamax tanpa diinjeksikan gas hasil elektrolisa air, tanpa pengecilan ukuran pilot jet. pengujian ini dimaksudkan untuk mendapatkan data pembandingan.
2. Menggunakan bahan bakar pertamax dan tambahan injeksi gas elektrolisa air, tanpa pengecilan ukuran pilot jet.
3. Menggunakan bahan bakar pertamax dan pengecilan ukuran pilot jet, tanpa injeksi gas elektrolisa air.
4. Menggunakan bahan bakar pertamax dan pengecilan ukuran pilot jet, dengan injeksi gas elektrolisa air skema alat uji disusun seperti yang terlihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6. Skema alat uji tanpa gas elektrolisa air.

Pada pengujian pertama, motor bakar menggunakan pilot jet ukuran standard dan tanpa injeksi gas elektrolisa air. Data fuel consumption dan gas buang yang didapat dijadikan dasar perbandingan untuk pengujian selanjutnya.



Gambar 3.7. Skema alat uji dengan injeksi gas elektrolisa air.

Pada pengujian kedua, yaitu pengujian motor bakar dengan bahan bakar pertamax dicampur gas hasil elektrolisa air. Skema alat ujinya seperti yang terlihat pada gambar 3.7 . proses pemasukan gas hasil elektrolisa air kedalam ruang bakar dilakukan setelah air filter, sebelum karburator.



Gambar 3.8. Posisi injeksi gas elektrolisa air pada air filter.

Pada pengujian ke tiga, ukuran pilot jet pada karburator di diperkecil dari ukuran standard 35 ke ukuran 30. Pilot jet ukuran yang telah diperkecil (30) ternyata memiliki ukuran ulir yang berbeda dengan ulir pilot jet standard, hal ini dapat diatasi dengan memberi isolasi karet pada sekeliling pilot jet agar tidak bocor.



Gambar 3.9. Pilot jet ukuran standard dan ukuran yang telah diperkecil

3.4 PROSEDUR PENGUJIAN

Proses pengujian motor bakar berbahan bakar bensin pertamax campur gas elektrolisa air ini dilakukan di laboratorium DTM FTUI.

Pelaksanaan pengujian dimaksudkan untuk mendapatkan data konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan oleh motor bakar. Pengambilan data konsumsi bahan bakar dilakukan dengan variasi putaran dari motor bakar adalah putaran 2500 rpm, 3500 rpm, 4500 rpm, dan 5500 rpm.

3.4.1 Prosedur Pengukuran Laju Produksi Gas Hasil Elektrolisa Air

1. Pasang seluruh alat-alat pengukuran sesuai skematik gambar 3.5.
2. Isi baskom dengan air hingga lubang tabung ukur terendam dan isi juga tabung ukur dengan air hingga penuh.
3. Menyalakan sumber tegangan DC selama satu menit.

4. Mengukur seberapa banyak gas elektrolisa air yang memasuki tabung ukur dengan melihat seberapa banyak penurunan air dari kolom tabung.
5. Setiap penurunan satu sentimeter air, sesuai dengan perhitungan matematis, maka gas yang masuk sebanyak $30,19 \text{ cm}^3$.
6. pengukuran diulang sebanyak sepuluh kali dan dihitung rata-ratanya.



Gambar 3.10. Setup alat untuk pengukuran laju produksi gas elektrolisa air

3.4.2 Proses Pengujian Tanpa Gas Elektrolisa Air

Pada pengujian ini, bahan bakar yang digunakan adalah pertamax, produk pertamina yang didapat dari SPBU Beji Depok. Pelaksanaan pengujian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Pastikan seluruh peralatan uji telah terpasang sebagaimana mestinya seperti pada skematik gambar 3.6.
2. Mengisi bahan bakar pada gelas ukur.
3. Menghidupkan moto bakar.
4. Memanaskan motor bakar selama kurang lebih 5 menit untuk mencapai kondisi operasional.
5. Menyeting putaran motor sesuai variasi putaran dengan toleransi putaran $\pm 50 \text{ rpm}$.

6. Mencatat pembacaan alat ukur: waktu (detik) untuk mengonsumsi 10ml bahan bakar, emisi gas buang CO(%), CO₂(%), HC(ppm), O₂(%).

Setelah seluruh pengujian dilakukan, maka alat uji dan alat ukur yang digunakan di nonaktifkan dengan cara sebagai berikut:

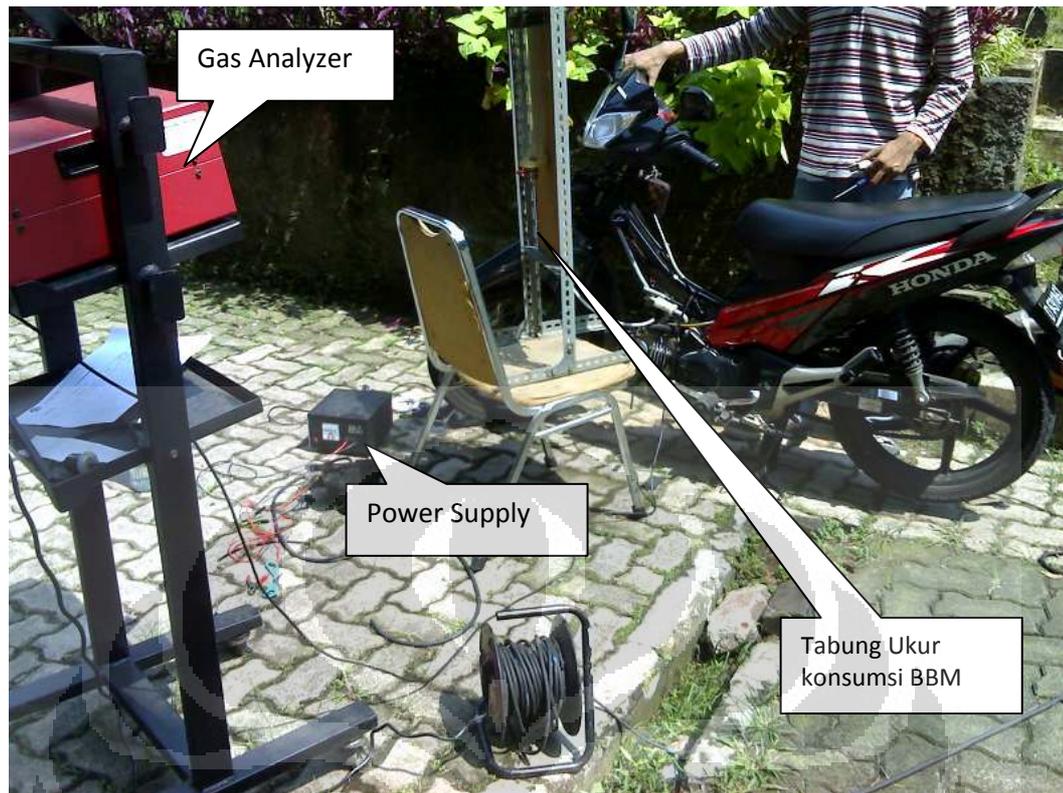
1. Putar kunci engine switch ke posisi off.
2. Tutup keran bahan bakar.
3. Matikan gas analyzer sesuai petunjuk penggunaan technotest 488 plus.

3.4.3 Prosedur Pengujian Dengan Gas Elektrolisa Air

Bahan bakar yang digunakan pada pengujian ini adalah pertamax, produk pertamina yang didapat di SPBU Beji Depok, dan juga gas elektrolisa air yang diinjeksikan pada air filter box.. Air yang digunakan adalah air keran yang terdapat di lantai 1 DTM FTUI dan ditambah 0.35 gram KOH sebagai elektrolit. Pelaksanaan pengujian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Pastikan seluruh peralatan uji telah terpasang sebagaimana mestinya seperti pada skematik gambar 3.7.
2. Mengisi bahan bakar pada gelas ukur.
3. Menghidupkan motor bakar.
4. Memanaskan motor bakar selama kurang lebih 5 menit untuk mencapai kondisi operasional.
5. Mengaktifkan reaktor elektrolisis dengan menekan switch on pada power suply DC lalu buka keran aliran gas elektrolisa air..
6. Menyeting putaran motor sesuai variasi putaran motor dengan toleransi ± 50 rpm.
7. Mencatat pembacaan alat ukur: waktu (detik) untuk mengonsumsi 10ml BBM, emisi gas buang CO (%), CO₂ (%), HC (ppm), O₂.
8. Sesaat setelah menghentikan pengukuran waktu, maka matikan power supply DC lalu tutup keran aliran gas elektrolisa air.
9. Menimbang dan mencatat berat akhir reaktor elektrolisis.

Setelah seluruh pengujian dilakukan, maka alat uji dan alat ukur dinonaktifkan dengan cara yang sama pada pengujian tanpa gas elektrolisa air.



Gambar 3.11. Proses pengujian dengan injeksi gas elektrolisa air.

BAB 4. HASIL DAN ANALISA

Penambahan gas hasil elektrolisa air pada motor bakar 4 langkah ini bertujuan untuk mengurangi penggunaan BBM sebagai bahan bakarnya, sehingga lebih irit. Pengaruh penambahan gas hasil elektrolisa air pada motor bakar 4 langkah ditinjau pada konsumsi bahan bakar minyak dan emisi gas buangnya.

4.1. HASIL PENGUKURAN LAJU PRODUKSI GAS ELEKROLISA

Pengukuran diperlukan untuk mengetahui seberapa banyak gas elektrolisa air yang diproduksi rektor dan dialirkan ke ruang bakar. Pengukuran dilakukan sebanyak sepuluh kali untuk mengambil rata-ratanya.

Volume reaktor = 1 liter air

Banyaknya KOH = 0,35 gram

Tegangan sumber DC = 13,8 Volt

Rata-rata produksi gas per menit = 162,645 ml/menit

Berikut ini adalah tabel datanya:

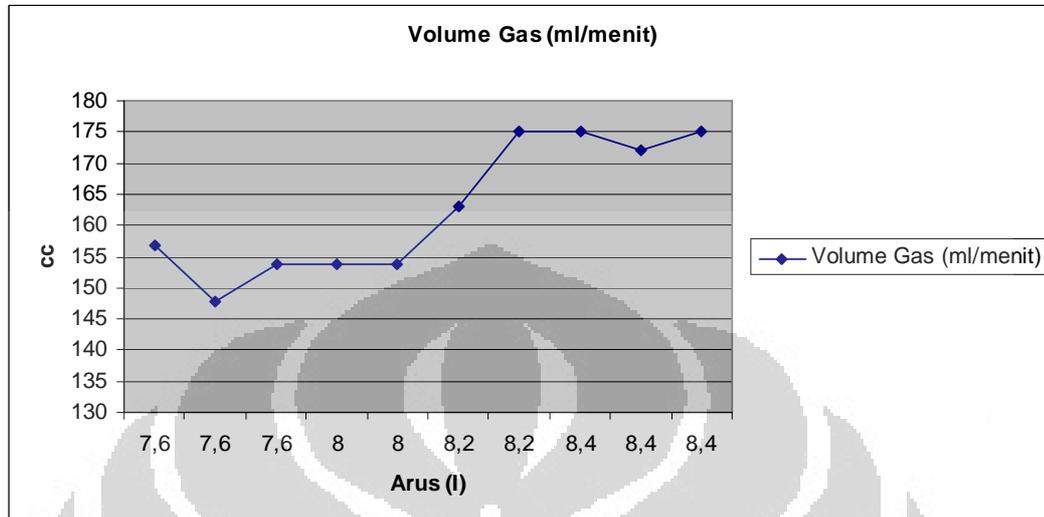
Tabel 4.1. Data laju produksi gas elektrolisa air pada berbagai kuat arus

No	V _{gas} (ml)	Arus (I)
1	156,91	7,6
2	147,85	7,6
3	153,89	7,6
4	153,89	8
5	153,89	8
6	162,94	8,2
7	175,01	8,2
8	175,01	8,4
9	171,99	8,4
10	175,01	8,4
Rata-rata	162,64	8,04

Seperti yang telah diketahui sebelumnya bahwa laju produksi gas elektrolisa air berbanding lurus dengan banyaknya arus yang dipakai, semakin besar arus maka akan semakin besar laju produksi gas nya.

Menurut hukum Faraday, laju produksi ini akan mengikuti persamaan 2.9.

Berikut ini adalah bentuk grafiknya:



Gambar 4.1. Produksi gas meningkat berbanding lurus dengan meningkatnya arus

Pada kenyataannya ada sebagian energi dari sumber DC yang diubah menjadi energi panas yang dibuang ke lingkungan, hal ini yang menyebabkan efisiensi raktor elektrolisa berkurang.

4.2. PERHITUNGAN KESETIMBANGAN ENERGI

Penambahan gas elektrolisa terhadap laju konsumsi BBM pada motor bakar terlihat membawa keuntungan, namun secara kesetimbangan energi, penghematan penggunaan bahan bakar minyak tidak diikuti dengan penghematan energi yang digunakan. Jumlah energi yang digunakan untuk menghasilkan gas elektrolisa air lebih besar dibandingkan dengan jumlah energi yang dihasilkan oleh gas hasil elektrolisa air tersebut, sehingga terjadi kerugian dalam hal penggunaan jumlah energi. Berikut adalah pembuktiannya:

Energi listrik yang digunakan per menit:

$$V = 13,8 \text{ Volt}$$

$$t = 60 \text{ detik}$$

$$I = 8,04 \text{ ampere}$$

$$W = V \cdot i \cdot t$$

$$W = 13,8 \times 8,04 \times 60 = 6657,12 \text{ Joule}$$

Massa gas hidrogen yang dihasilkan oleh elergi listrik pada reaktor:

$$m = \frac{(e.i.t)}{F}; F = 96.500; e = \text{Ar atau Mr dibagi valensi}$$

Untuk gas Hidrogen, $e = 2/2 = 1$

$$m = \frac{(1.8,04.60)}{96.500} = 0,005 \text{ gram}$$

Energi pembakaran yang dihasilkan gas hidrogen per menit:

$$\text{LHV hidrogen} = 113,73 \text{ BTU/gram}$$

$$W = m \cdot \text{LHV}$$

$$0,005 \cdot 113,73 = 0,569 \text{ BTU}$$

$$0,569 \text{ BTU} = 600,326 \text{ Joule}$$

Perbandingan energi yang diberikan dan yang didapat:

$$(W_{\text{hidrogen}} / W_{\text{listrik}}) \cdot 100 = 600,326 / 6657,12 \cdot 100\% = 9,018\%$$

Artinya, kita hanya bisa mendapatkan maksimal 9,018% energi dari energi total yang diberikan oleh listrik.

Pengecilan pilot jet mengakibatkan supply bahan bakar berkurang. Pengurangan ini berakibat pada berkurangnya jumlah energi yang dihasilkan oleh motor bakar sehingga motor bakar tersendat. Untuk menanggulangnya maka dibutuhkan energi yang diberikan dalam bentuk gas elektrolisa air, kesetimbangan energinya adalah sebagai berikut.

(Rata-rata konsumsi BBM standard) – (rata-rata konsumsi BBM pilot jet kecil) = 0,44 ml/menit,

$$\rho \text{ pertamax} = 0,74 \text{ kg/liter,}$$

$$m \text{ pertamax} = 0,000328 \text{ kg/menit}$$

$$\text{nilai kalor pertamax} = 43,44 \text{ MJ/Kg}$$

$$\text{Jumlah energi yang hilang akibat pengecilan pilot jet} = 14200 \text{ Joule}$$

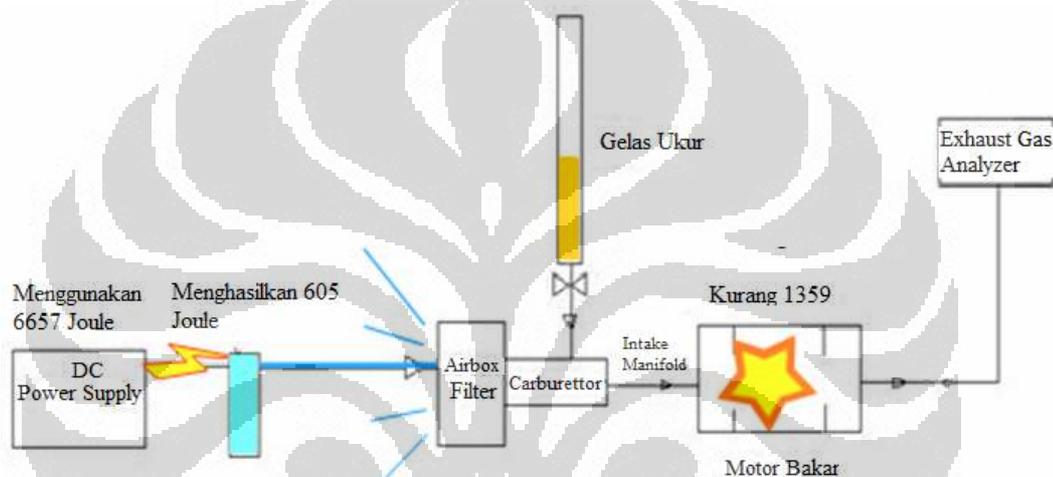
$$\text{Jumlah energi gas hidrogen} = 605 \text{ Joule}$$

$$\frac{605}{14200} \cdot 100\% = 4,26\%$$

Jumlah energi yang diberikan masih sangat jauh dari mencukupi untuk menutupi kekurangan energi (hanya 4,26%), sehingga motor masih tersendat dan kekurangan tenaga.

Untuk mencukupi kebutuhan energi sebanyak 14200 joule tersebut, maka dibutuhkan hidrogen sebanyak 0,118 gram/menit, ($0,0013 \text{ m}^3/\text{menit}$),

ρ hidrogen = 0.085 kg/m^3 (1.013 bar dan $15 \text{ }^\circ\text{C}$). Dengan menggunakan hukum Faraday mengenai elektrolisa air, maka dibutuhkan arus sebesar 189,78 ampere. Untuk menghasilkan hidrogen sebanyak itu dalam waktu satu menit membutuhkan daya sebesar $W = V \cdot I = 13,8 \cdot 189,78 \cdot 60 = 2618,964 \text{ Watt}$.



Gambar 4.2 Aliran energi pada sistem

4.3. PENGUJIAN KONSUMSI BAHAN BAKAR DAN EFISIENSI

Percobaan pertama dilakukan pada motor bakar tanpa penambahan gas hasil elektrolisa air, hal untuk mengetahui seberapa besar laju konsumsi BBM yang dibutuhkan motor bakar dalam kondisi tanpa penambahan gas hasil elektrolisa air. Berikut adalah contoh perhitungan dan hasil dari percobaan yang dilakukan:

$$V_{bb} = 10 \text{ ml} = 0.01 \text{ L}$$

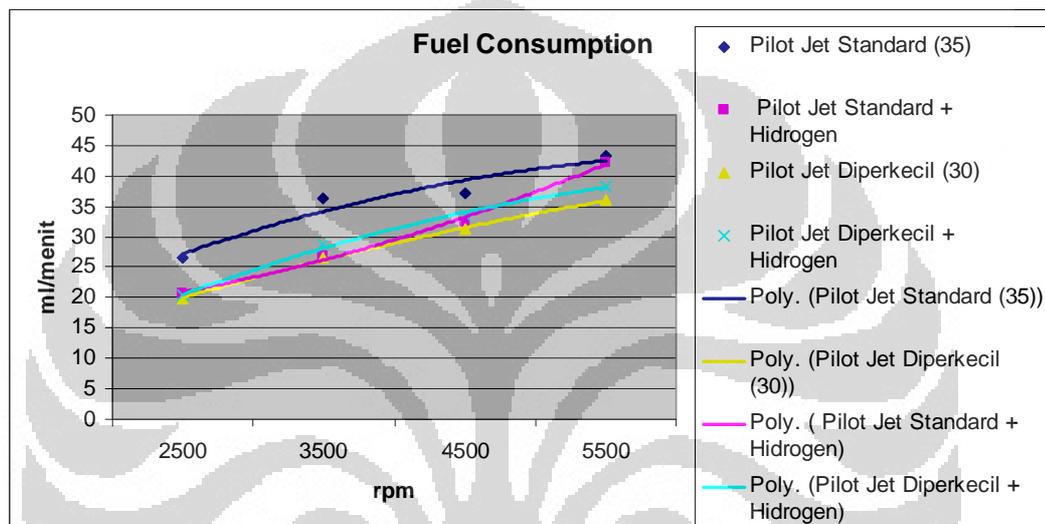
$$t = 22,1 \text{ detik}$$

$$f_c (\text{ml/min}) = (10/t) \cdot 60 = (10/22,1) \cdot 60 = 26,47 \text{ ml/min}$$

Pengambilan data konsumsi BBM tanpa penambahan gas elektrolisa air pada putaran. Hasil pengujian konsumsi BBM tanpa penambahan gas elektrolisa air secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4.2.

Tabel 4.2. Data laju penggunaan BBM pada berbagai rpm dan kondisi

FC (ml/menit)				
Rpm	Standar	Standard + Hdrogen	Pilot Jet kecil	Pilot Jet kecil + Hidrogen
2500	26,478	20,656	19,922	20,274
3500	36,341	26,954	26,533	28,763
4500	37,174	32,485	31,147	33,438
5500	43,206	42,174	36,050	38,314



Gambar 4.3. Grafik konsumsi BBM pada berbagai rpm dan kondisi

Grafik menunjukkan bahwa penghematan penggunaan BBM dapat dilakukan dengan cara mengurangi ukuran pilot jet dan juga dengan penambahan gas hidrogen.

Pengecilan ukuran pilot jet dapat menghemat konsumsi bahan bakar karena jumlah bahan bakar yang dapat melewati pilot jet yang telah diperkecil akan berkurang.

Penambahan gas hidrogen akan mengurangi konsumsi bahan bakar karena dengan penambahan gas hidrogen maka ada sebagian porsi BBM yang digantikan oleh gas hidrogen.

Secara logis seharusnya pengecilan ukuran pilot jet yang diiringi dengan penambahan gas hidrogen akan lebih menghemat konsumsi BBM, namun pada kenyataannya penambahan hidrogen pada kondisi pilot jet diperkecil tidak meningkatkan penghematan bahkan justru mengurangi penghematan. Walaupun

demikian, secara keseluruhan masih lebih hemat dibandingkan dengan ukuran pilot jet standard tanpa gas hidrogen. Untuk lebih jelasnya, lihat gambar 4.3.

Gambar 4.3. menunjukkan bahwa pada putaran 3500 dan 4500, pada kondisi pilot jet diperkecil dan ditambah hidrogen, penghematan tidak lebih baik dari kondisi pilot jet standard ditambah hidrogen dan pilot jet diperkecil tanpa hidrogen. Hal ini terjadi diperkirakan karena pada setiap pengambilan data pada putaran mesin yang berbeda, tidak dilakukan setting ulang pada air screw untuk mencari settingan terbaik. Tidak dilakukan setting ulang karena diasumsikan pada keadaan nyata (motor dikendarai dan bergerak) tidak dimungkinkan untuk melakukan setting ulang setiap perubahan rpm, jadi setting tetap pada kondisi awal.

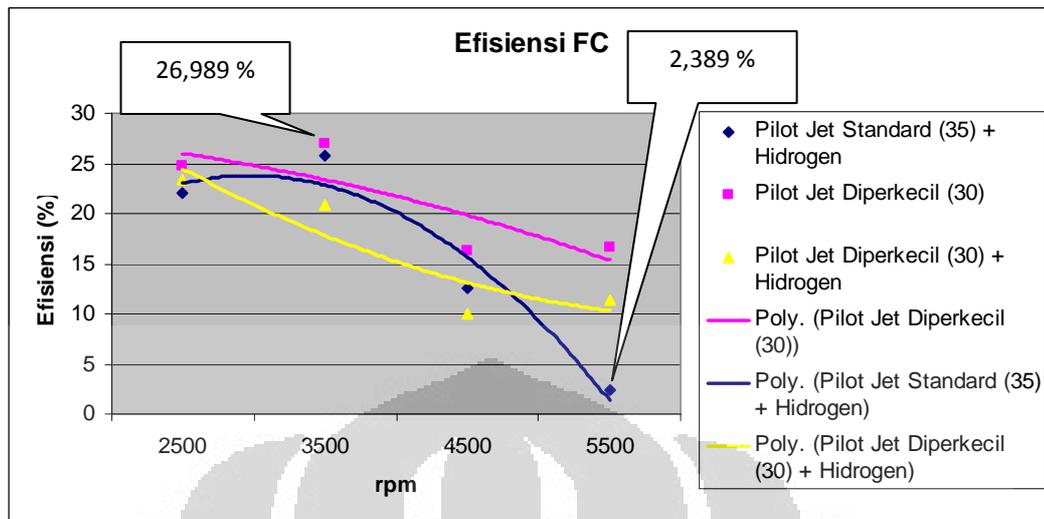
Dengan tidak dilakukannya setting ulang air screw, maka aliran udara yang masuk melalui pilot jet volumenya bertambah akibat adanya gas hidrogen dan menghisap lebih banyak bahan bakar.

Tabel 4.3. Data efisiensi dari berbagai kecepatan putar dan kondisi

Efisiensi (%)			
Rpm	Standard + Hidrogen	Pilot Jet kecil	Pilot Jet kecil + Hidrogen
2500	21,987	24,759	23,428
3500	25,831	26,989	20,853
4500	12,615	16,213	10,050
5500	2,389	16,563	11,323
Rata-rata	12,564	16,905	13,131

Berdasarkan tabel 4.2 didapat kesimpulan bahwa penghematan pemakaian BBM terbaik adalah pada kondisi pilot jet diperkecil tanpa gas hidrogen di 3500 rpm sebesar 26,989%, sedangkan penghematan terburuk didapat pada kondisi pilot jet standard dengan gas hidrogen di 5500 rpm sebesar 2,389%.

Secara keseluruhan, data menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan putar maka efisiensi akan semakin berkurang, hal ini disebabkan karena jumlah produksi gas hidrogen konstan sedangkan kebutuhan bahan bakar meningkat seiring bertambahnya kecepatan putar



Gambar 4.4. Grafik efisiensi pada berbagai rpm dan kondisi

4.4. KANDUNGAN CO PADA GAS BUANG

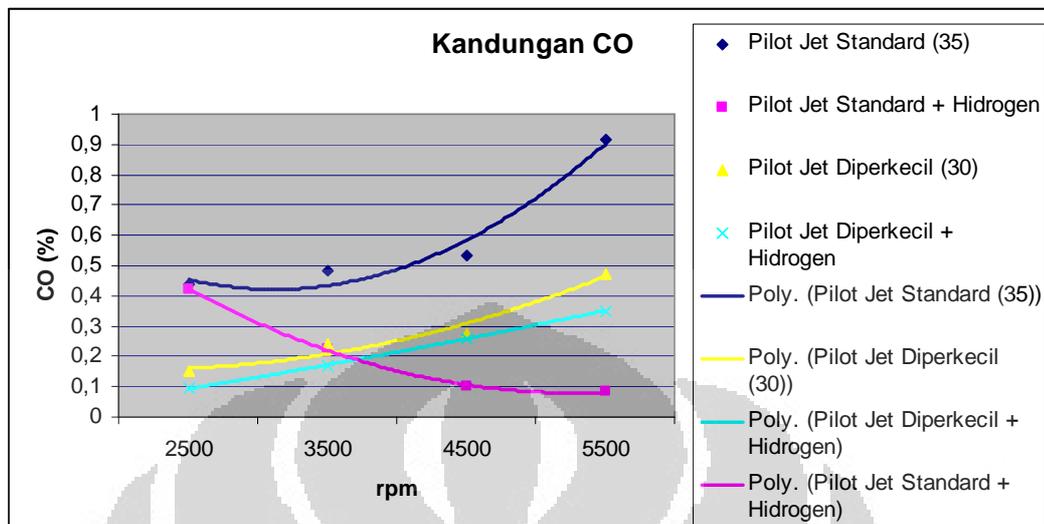
Kandungan CO pada gas buang menunjukkan pembakaran yang tidak sempurna dan meninggalkan CO yang belum sepenuhnya bereaksi dengan O_2 dalam pembakaran.

Kandungan CO cenderung meningkat dengan bertambahnya kecepatan putar mesin, hal ini disebabkan karena semakin cepat mesin berputar maka akan membutuhkan lebih banyak bahan bakar, dengan demikian akan memperbanyak produksi CO.

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa kandungan CO terbesar dihasilkan oleh kondisi pilot jet standar kecepatan 5500 rpm, dengan nilai terbesar sebanyak 0,917% volume. Sedangkan nilai terkecil diperoleh pada kondisi pilot jet standard dengan penambahan gas hidrogen dengan nilai 0,08% volume pada 5500 rpm.

Secara keseluruhan, data menunjukkan bahwa dengan menambahkan gas elektrolisa air, maka akan memperkecil kandungan CO pada gas buang. Hal ini disebabkan karena gas hidrogen dan oksigen yang masuk ke ruang bakar akan meningkatkan performa pembakaran dengan cara bereaksi dengan bahan bakar cair dan memberi lebih banyak peluang terjadinya oksidasi. Gas hasil elektrolisa air ini akan memperbanyak tempat untuk bahan bakar cair beroksidasi dan

berikatan kimia dalam pembakaran, oleh karena itu, kandungan gas CO akan turun diiringi peningkatan gas CO₂ sebagai hasil pembakaran yang sempurna.



Gambar 4.5. Grafik kandungan gas CO pada gas buang.

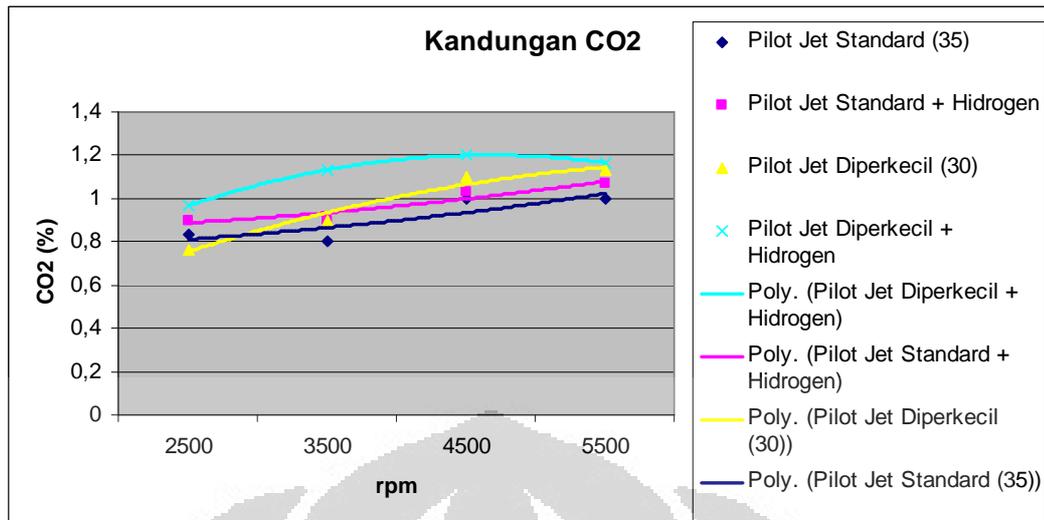
Ada sedikit keganjilan pada grafik dimana kandungan CO ternyata turun seiring naiknya kecepatan putar mesin, hal ini terjadi pada kondisi pilot jet standard dengan penambahan gas elektrolisa. Hal ini belum dapat dijelaskan dengan pasti, namun menurut perkiraan, telah terjadi kesalahan pada sensor alat saat pembacaan berlangsung. Normalnya semakin bertambah kecepatan putar maka akan semakin besar kadar CO pada gas buang.

Tabel 4.4. Data kadar CO dari berbagai kecepatan putar dan kondisi

Efisiensi (%)	Standard + Hdrogen	Pilot Jet kecil	Pilot Jet kecil + Hidrogen
Rpm			
2500	21,987	24,759	23,428
3500	25,831	26,989	20,853
4500	12,615	16,213	10,050
5500	2,389	16,563	11,323
Rata-rata	15,705	21,131	16,414

Pada tabel data diatas terlihat bahwa rata-rata penghematan terbanyak didapat pada kondisi pilot jet diperkecil sebanyak 21,13%.

4.5. KANDUNGAN CO₂ PADA GAS BUANG



Gambar 4.6. Grafik kandungan gas CO₂ pada gas buang.

Kandungan CO₂ menunjukkan performa pembakaran dalam ruang bakar, semakin besar nilai CO₂ maka semakin baik proses pembakaran yang terjadi.

Tabel 4.5. Data kadar CO dari berbagai kecepatan putar dan kondisi

CO ₂ (%)				
Rpm	Standard	Standard + Hdrogen	Pilot Jet kecil	Pilot Jet kecil + Hidrogen
2500	0,833	0,9	0,767	0,967
3500	0,8	0,9	0,9	1,133
4500	1	1,033	1,1	1,2
5500	1	1,066	1,133	1,167

Data menunjukkan bahwa kandungan CO₂ pada gas buang semakin banyak seiring bertambahnya kecepatan putar. Hal ini disebabkan karena pada kecepatan putar mesin yang tinggi, temperatur pembakaran akan semakin tinggi dan efisiensi termal dan pembakaran akan meningkat sehingga menaikkan jumlah CO₂ sebagai gas hasil pembakaran yang sempurna.

Secara keseluruhan, Data menunjukkan bahwa dengan mengurangi jumlah bahan bakar yang masuk ke ruang bakar (memperkecil ukuran pilot jet), yang berakibat berubahnya AFR ke campuran miskin bahan bakar, maka efisiensi pembakaran akan semakin besar, hal ini dibuktikan dengan meningkatnya jumlah kandungan CO₂ pada kondisi pilot jet diperkecil.

Efisiensi pembakaran juga akan lebih banyak bertambah jika ditambahkan dengan gas elektrolisa air karena selain gas ini mengandung gas H₂ sebagai bahan

bakar yang akan mengikat karbon, gas elektrolisa air juga mengandung gas O_2 yang merupakan unsur penting penyebab adanya pembakaran. Hal ini dibuktikan dengan bertambahnya jumlah CO_2 pada kondisi pembakaran dengan penambahan gas elektrolisa, dibanding dengan kondisi tanpa gas elektrolisa pada ukuran pilot jet standard, maupun yang telah diperkecil.

Membbaiknya pembakaran dalam ruang bakar dikarenakan adanya gas O_2 dan H_2 yang merupakan unsur penting dalam pembakaran. O_2 merupakan oksidator dan H_2 merupakan bahan bakar. CO yang tersisa akibat pembakaran bahan bakar minyak yang tidak sempurna akan terikat oleh gas O_2 yang terkandung dalam gas elektrolisa menghasilkan CO_2 . Hal ini juga membuktikan bahwa gas CO yang tersisa akibat pembakaran yang tidak sempurna, berubah menjadi CO_2 .

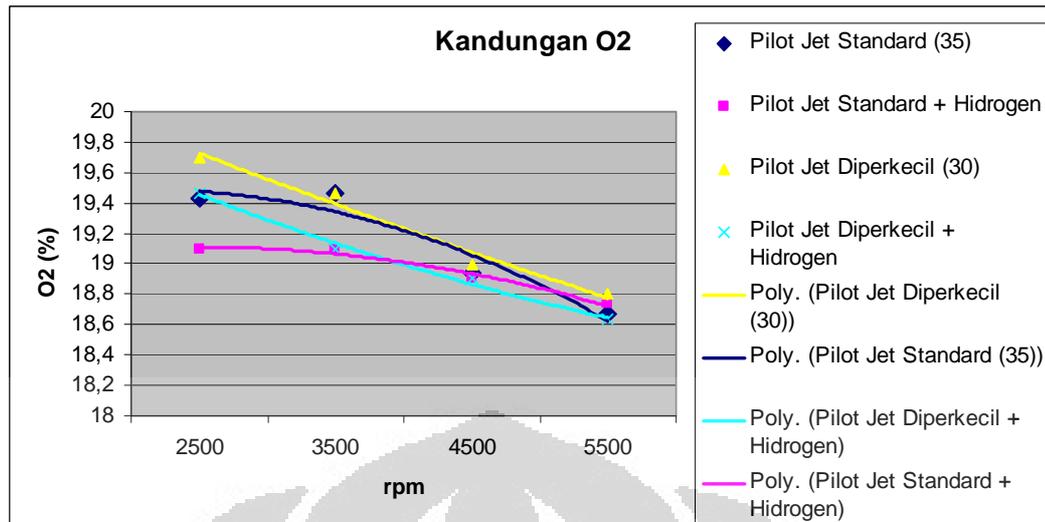
Dari data yang didapat, bisa dilihat bahwa rata-rata penambahan kadar CO_2 pada gas buang terbesar dibandingkan dengan kondisi standard adalah pada kondisi pilot jet diperkecil dengan penambahan hidrogen, yaitu sebesar 23,58%.

4.6. KANDUNGAN O_2 PADA GAS BUANG

Pada pengambilan data O_2 , data cenderung diatas ambang batas maksimum untuk uji emisi, yaitu sekitar 19% sedangkan ambang batas maksimal O_2 untuk uji emisi adalah sebesar 2% saja. Hal ini disebabkan karena alat yang dipakai untuk pengambilan data sebenarnya dikhususkan untuk pengambilan data mobil sedangkan alat uji adalah sepeda motor sehingga ada kemungkinan alat tidak compatible. Namun demikian kita tetap dapat menggunakan data untuk analisa dengan hanya melihat trend keluaran data.

Tabel 4.6. Data kadar CO dari berbagai kecepatan putar dan kondisi

O_2				
Rpm	Standard	Standard + Hdrogen	Pilot Jet kecil	Pilot Jet kecil + Hidrogen
2500	19,433	19,1	19,7	19,466
3500	19,466	19,1	19,466	19,1
4500	18,933	18,9	19	18,9
5500	18,666	18,733	18,8	18,633



Gambar 4.7. Grafik kandungan gas O₂ pada gas buang.

Data secara keseluruhan menunjukkan penurunan kadar O₂ seiring bertambahnya kecepatan putar mesin. Hal ini terjadi karena putaran mesin yang tinggi menyebabkan temperatur ruang bakar meningkat, peningkatan ini akan mempermudah raksi pembakaran yang pada akhirnya meningkatkan efisiensi sehingga menurunkan kadar O₂.

Kadar O₂ yang dihasilkan oleh motor bakar dengan penambahan gas elektrolisa air lebih rendah dibandingkan dengan motor bakar tanpa penambahan gas elektrolisa air. Hal ini menunjukkan bahwa oksigen yang digunakan saat proses pembakaran pada motor bakar dengan penambahan gas elektrolisa air lebih banyak dari pada motor bakar tanpa penambahan gas elektrolisa air.

Grafik menunjukkan bahwa kadar O₂ pada gas buang saat kondisi pilot jet diperkecil tertinggi dari pada kondisi lain. Hal ini disebabkan karena pada kondisi ini, bahan bakar yang masuk ke ruang bakar sedikit dan kondisi campuran miskin bahan bakar sehingga ada sebagian O₂ yang tidak bereaksi dengan bahan bakar.

Dengan penambahan gas elektrolisa air, kadar O₂ berkurang pada gas buang, hal ini disebabkan karena gas O₂ dan H₂ bereaksi pada pembakaran untuk membentuk H₂O.

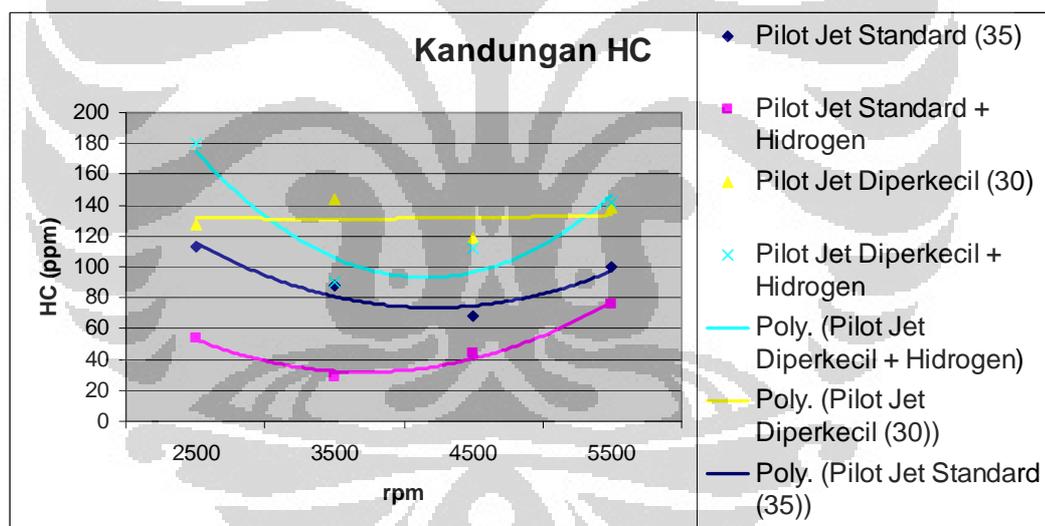
Dari data yang didapat, bisa dilihat bahwa rata-rata pengurangan kadar O₂ pada gas buang terbesar dibandingkan dengan kondisi standard adalah pada kondisi pilot jet standard dengan penambahan hidrogen, yaitu sebesar 0,854%.

4.7. KANDUNGAN HC PADA GAS BUANG

Kandungan HC pada gas buang menunjukkan banyaknya bahan bakar yang belum terbakar pada pembakaran. Semakin besar nilai HC maka semakin banyak bahan bakar yang belum terbakar, ini juga menunjukkan bahwa campuran AFR terlalu kaya.

Tabel 4.7. Data kadar HC dari berbagai kecepatan putar dan kondisi

rpm	Standard	Standard + Hidrogen	Pilot Jet kecil	Pilot Jet kecil + Hidrogen
2500	113	54	127,333	180
3500	88	29	144,333	90,333
4500	67,667	44	118,667	112,333
5500	99,667	76	138	141,333

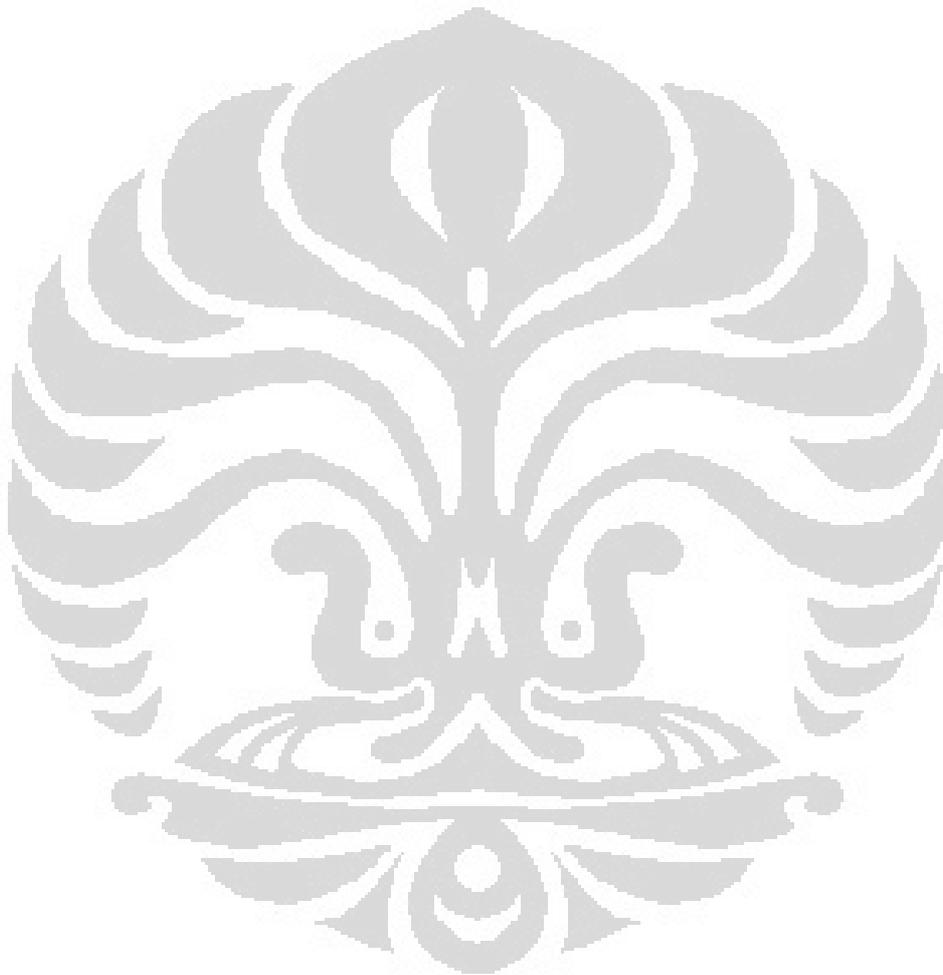


Gambar 4.8. Grafik kandungan HC pada gas buang.

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa kandungan HC rendah pada kecepatan putar 3500 dan 4500, tinggi pada kecepatan putar 2500 dan 5500. Berdasarkan data ini bisa disimpulkan bahwa pada putaran rendah, pembakaran kurang sempurna dikarenakan kurangnya panas pada ruang bakar yang mengurangi efisiensi pembakaran, namun saat putaran mesin tinggi kadar HC kembali naik, hal ini disebabkan oleh waktu yang tersedia untuk melakukan pembakaran sedikit

sehingga banyak bahan bakar yang belum sempat terbakar harus keluar dari ruang bakar.

Dari data yang didapat, rata-rata pengurangan kadar HC pada gas buang terbesar dibandingkan dengan kondisi standard adalah pada kondisi pilot jet standard dengan penambahan hidrogen, yaitu sebesar 0,854%.



BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

1. Secara keseluruhan, proses penambahan gas hasil elektrolisa air dapat mengurangi penggunaan BBM sebagai bahan bakar utama pada motor bakar 4 langkah.
2. Persentase penghematan rata-rata terbesar terjadi pada kondisi pilot jet diperkecil tanpa penambahan hidrogen, yaitu sebesar 16,905%, setelah itu kondisi pilot jet diperkecil dengan penambahan gas hidrogen sebesar 13,131%.
3. Pada kondisi penambahan gas elektrolisa air, semakin tinggi putaran mesin, penghematan semakin rendah, hal ini disebabkan karena jumlah produksi gas eelktrolisa air yang tidak bisa mengikuti penambahan kebutuhan bahan bakar saat putaran mesin tinggi.
4. Semakin besar laju produksi gas elektrolisa air, semakin besar penghematan BBM yang dapat diperoleh.
5. Rata-rata laju produksi gas elektrolisa air dengan menggunakan katalis KOH 0,35 gram per liter air dengan kuat arus 8,04 ampere adalah 162,65 cc per menit.
6. Pengurangan kandungan CO terbesar sebanyak sebesar -90,83% didapat pada kondisi pilot jet standard dengan penambahan gas elektrolisa air.
7. Rata-rata pengurangan kadar HC terbesar pada gas buang dibandingkan dengan kondisi standard adalah pada kondisi pilot jet standard dengan penambahan hidrogen, yaitu sebesar -44,494%.

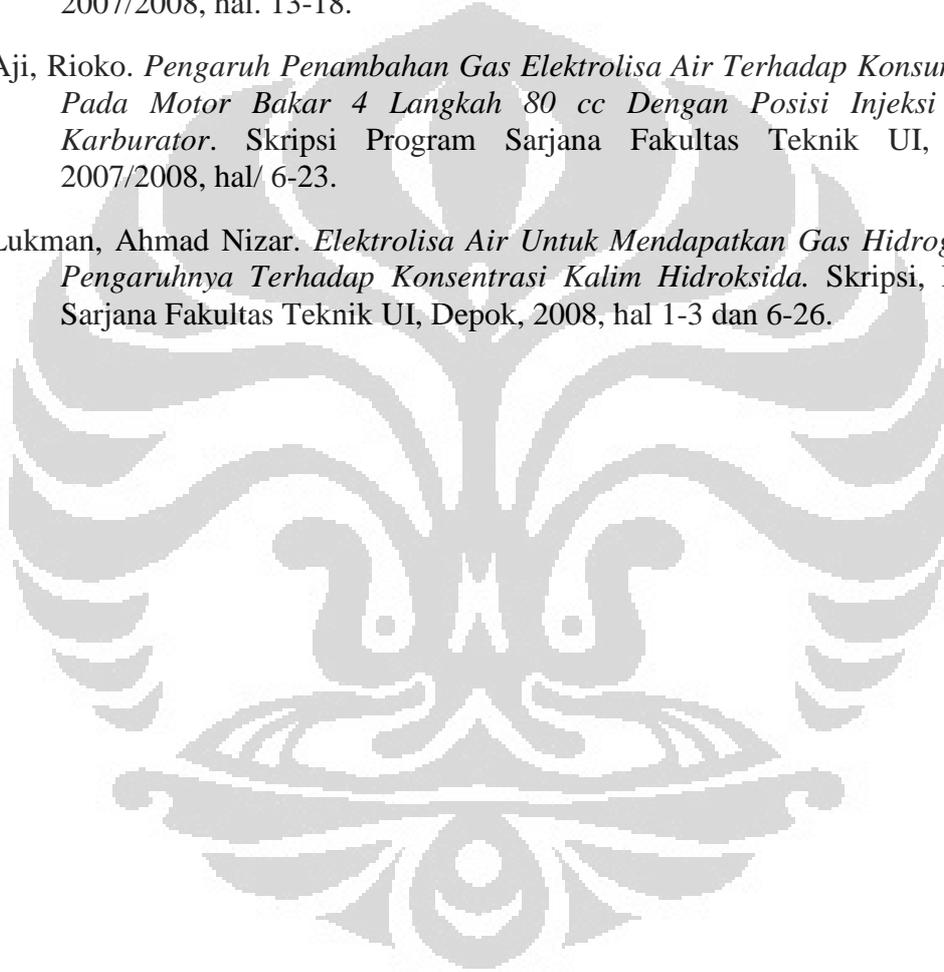
8. Rata-rata pengurangan kadar O_2 terbesar pada gas buang dibandingkan dengan kondisi standard adalah pada kondisi pilot jet standard dengan penambahan hidrogen, yaitu sebesar 0,854%.
9. Rata-rata penambahan kadar CO_2 terbesar pada gas buang dibandingkan dengan kondisi standard adalah pada kondisi pilot jet diperkecil dengan penambahan hidrogen, yaitu sebesar 23,58%.
10. Rata-rata penghematan terbanyak didapat pada kondisi pilot jet diperkecil, yaitu sebanyak 21,13%.
11. Semakin besar kecepatan putar maka efisiensi akan semakin berkurang, hal ini disebabkan karena jumlah produksi gas hidrogen konstan sedangkan kebutuhan bahan bakar meningkat seiring bertambahnya kecepatan putar.

5.2 SARAN

1. Dibuat sistem perlistrikan yang kompak dan tidak perlu sumber daya listrik dari PLN sehingga bisa dipasang pada kendaraan bermotor untuk road test.
2. Dilakukan penelitian lebih lanjut agar dapat menaikkan produksi gas hasil elektrolisa air dengan mencari konfigurasi terbaik terkait jenis dan jumlah katalis, pelat elektroda, penambahan PWM, dan sebagainya.
3. Dibuat test bed untuk pengujian beban pada motor bakar yang sudah diberi gas elektrolisa air.

DAFTAR ACUAN

- Pulkrabek, Willard W. *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*. Pletteville: Prentice Hall
- Sugiarto, Bambang. *Motor Pembakaran Dalam*. Jakarta: Universitas Indonesia
- Suhirta, Ii. *Injeksi Gas Hidrogen Hasil Elektrolisa Air Pada Mesin Generator Sumura 1000 Watt*. Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2007/2008, hal. 13-18.
- Aji, Rioko. *Pengaruh Penambahan Gas Elektrolisa Air Terhadap Konsumsi Bbm Pada Motor Bakar 4 Langkah 80 cc Dengan Posisi Injeksi Setelah Karburator*. Skripsi Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2007/2008, hal/ 6-23.
- Lukman, Ahmad Nizar. *Elektrolisa Air Untuk Mendapatkan Gas Hidrogen Dan Pengaruhnya Terhadap Konsentrasi Kalim Hidroksida*. Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2008, hal 1-3 dan 6-26.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Data laju produksi gas elektrolisa air pada berbagai kuat arus

No	V _{gas} (ml)	Arus (I)
1	156,91	7,6
2	147,85	7,6
3	153,89	7,6
4	153,89	8
5	153,89	8
6	162,94	8,2
7	175,01	8,2
8	175,01	8,4
9	171,99	8,4
10	175,01	8,4
Rata-rata	162,64	8,04

Lampiran 2. Data laju penggunaan BBM pada berbagai rpm dan kondisi

FC (ml/menit)				
Rpm	Standar d	Standard + Hdrogen	Pilot Jet kecil	Pilot Jet kecil + Hidrogen
2500	26,478	20,656	19,922	20,274
3500	36,341	26,954	26,533	28,763
4500	37,174	32,485	31,147	33,438
5500	43,206	42,174	36,050	38,314

Lampiran 3. Data efisiensi dari berbagai kecepatan putar dan kondisi

Efisiensi (%)			
Rpm	Standard + Hdrogen	Pilot Jet kecil	Pilot Jet kecil + Hidrogen
2500	21,987	24,759	23,428
3500	25,831	26,989	20,853
4500	12,615	16,213	10,050
5500	2,389	16,563	11,323
Rata-rata	12,564	16,905	13,131

Lampiran 4. Data kadar CO dari berbagai kecepatan putar dan kondisi

Efisiensi (%)				
Rpm	Standard + Hdrogen	Pilot Jet kecil	Pilot Jet kecil + Hidrogen	
2500	21,987	24,759	23,428	
3500	25,831	26,989	20,853	
4500	12,615	16,213	10,050	
5500	2,389	16,563	11,323	
Rata-rata	15,705	21,131	16,414	

CO ₂ (%)				
Rpm	Standard	Standard + Hdrogen	Pilot Jet kecil	Pilot Jet kecil + Hidrogen
2500	0,833	0,9	0,767	0,967
3500	0,8	0,9	0,9	1,133
4500	1	1,033	1,1	1,2
5500	1	1,066	1,133	1,167

Lampiran 5. Data kadar CO dari berbagai kecepatan putar dan kondisi

O ₂				
Rpm	Standard	Standard + Hdrogen	Pilot Jet kecil	Pilot Jet kecil + Hidrogen
2500	19,433	19,1	19,7	19,466
3500	19,466	19,1	19,466	19,1
4500	18,933	18,9	19	18,9
5500	18,666	18,733	18,8	18,633

Lampiran 6. Data kadar HC dari berbagai kecepatan putar dan kondisi

HC (ppm)				
rpm	Standard	Standard + Hdrogen	Pilot Jet kecil	Pilot Jet kecil + Hidrogen
2500	113	54	127,333	180
3500	88	29	144,333	90,333
4500	67,667	44	118,667	112,333
5500	99,667	76	138	141,333