



UNIVERSITAS INDONESIA

**APLIKASI PENAMBAHAN GAS HIDROGEN PADA MOTOR
BAKAR 4 LANGKAH DISERTAI PENGECILAN PILOT JET
DENGAN MELAKUKAN UJI JALAN KENDARAAN
BERBAHAN BAKAR PERTAMAX**

SKRIPSI

Mohammad Rosyid Ridho

NPM : 0706198700

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
DEPOK
DESEMBER 2009**

Universitas Indonesia



UNIVERSITAS INDONESIA

**APLIKASI PENAMBAHAN GAS HIDROGEN PADA MOTOR
BAKAR 4 LANGKAH DISERTAI PENGECILAN PILOT JET
DENGAN MELAKUKAN UJI JALAN KENDARAAN
BERBAHAN BAKAR PERTAMAX**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

Mohammad Rosyid Ridho

NPM : 0706198700

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
DEPOK
DESEMBER 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 : Mohammad Rosyid Ridho

NPM: : 0706198700

TANDA TANGAN :

TANGGAL : Desember 2009



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Mohammad Rosyid Ridho
 NPM : 0706198700
 Program Studi : Teknik Mesin
 Judul Skripsi : Aplikasi Penambahan Gas Hidrogen Pada Motor Bakar 4 Langkah Disertai Pengecilan Pilot Jet Dengan Melakukan Uji Jalan Kendaraan Berbahan Bakar Pertamax

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. MEng.
 Penguji : Prof. Dr. Ir Yulianto S Nugroho MSc.
 Penguji : Dr. Ir. Danardono A. S.
 Penguji : Dr. Agus Pamitran ST. MSc

(
)
)
)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal :

KATA PENGANTAR

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.
6. Spesial thanks to Dilla Fadlyasari dan keluarga yang bersedia menunggu sampai penulis 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, Desember 2009
Mohammad Rosyid Ridho

Universitas Indonesia

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

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

Nama : Mohammad Rosyid Ridho

NPM : 0706198700

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 : **APLIKASI PENAMBAHAN GAS HIDROGEN PADA MOTOR BAKAR 4 LANGKAH DISERTAI PENGECILAN PILOT JET DENGAN MELAKUKAN UJI JALAN KENDARAAN BERBAHAN BAKAR PERTAMAX**, 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 : Desember 2009

Yang menyatakan

(Mohammad Rosyid Ridho)

ABSTRAK

Nama : Mohammad Rosyid Ridho
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Aplikasi Penambahan Gas Hidrogen Pada Motor Bakar 4 Langkah Disertai Pengecilan Pilot Jet Dengan Melakukan Uji Jalan Kendaraan Berbahan Bakar Pertamax

Struktur molekul air melalui proses elektrolisa dapat dipecah menjadi gas O_2 dan H_2 . 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) melalui uji jalan kendaraan, emisi gas buang, daya dan torsi kendaraan dimana di tiap-tiap pengujian dilakukan 4 tahap yaitu pengujian dalam kondisi standar, pengujian dalam kondisi standar ditambah dengan gas hidrogen, pengujian dengan pilot jet diperkecil tanpa gas hidrogen dan pilot jet diperkecil dengan gas hidrogen. Pada pengujian ini menggunakan bahan bakar pertamax.

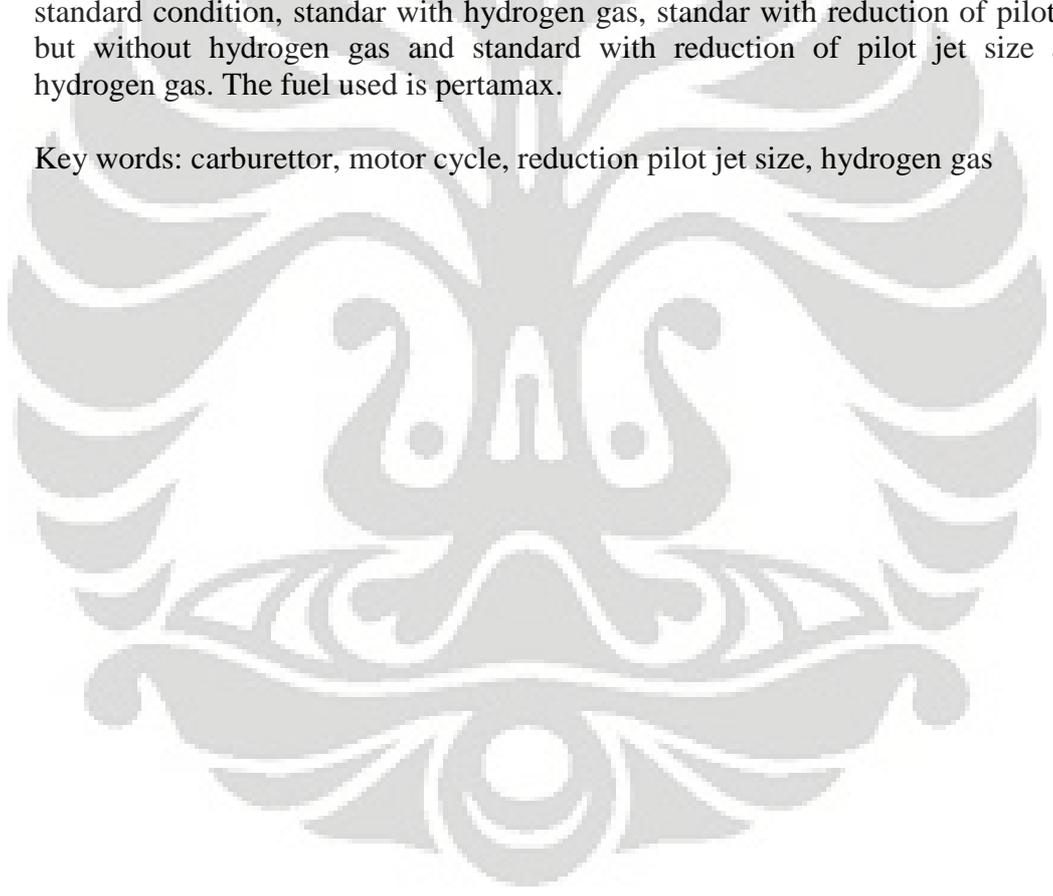
Kata kunci: Aplikasi, karburator, sepeda motor, pengecilan pilot jet, hidrogen

ABSTRACT

Name : Mohammad Rosyid Ridho
Study Program : Mechanical Engineering
Judul : Application Adding The Hydrogen Gas to 4 Stroke Internal
Combustion Engine and Reduction of Pilot Jet Size with The
Road test and Pertamina fuel

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 experiment have done with comparation of fuel consumption with the road test, exhaust gas emission, power and Torque. In standard condition, standar with hydrogen gas, standar with reduction of pilot jet but without hydrogen gas and standard with reduction of pilot jet size and hydrogen gas. The fuel used is pertamax.

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



DAFTAR ISI

PERNYATAAN ORISINALITAS	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMAKASIH	iii
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	iv
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. PERMASALAHAN	3
1.3. TUJUAN	3
1.4. BATASAN MASALAH	4
1.5. METODOLOGI PENULISAN	4
BAB 2. DASAR TEORI	6
2.1. MOTOR OTTO	6
2.2. SIKLUS KERJA MOTOR OTTO	7
2.3. PARAMETER PRESTASI MESIN	11
2.4. PEMBAKARAN DAN EMISI PADA MOTOR OTTO	12
2.4.1. Pembakaran Dengan Penambahan Gas Elektrolisa	13
2.5. TERBENTUKNYA POLUTAN PADA ALIRAN GAS BUANG	14
2.5.1. Karbon Monoksida (CO)	14
2.5.2. Hidrokarbon (HC)	15
2.5.3. Nitrogen Oksida (NO _x)	15
2.5.4. Udara Berlebih (Excess Air)	16
2.6. ELEKTROLISA AIR	17

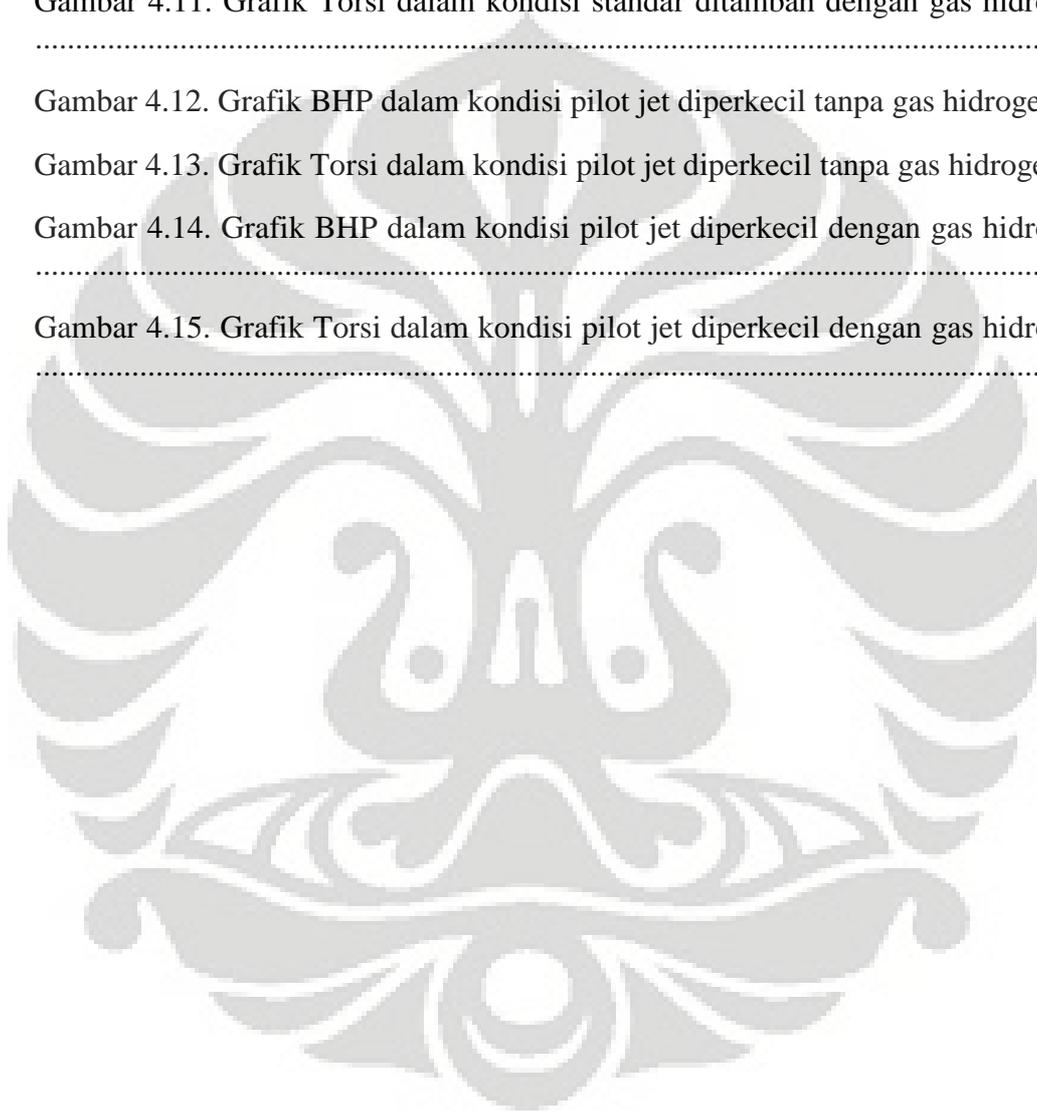
2.6.1	Pelepasan dan Penangkapan Elektron.....	17
2.7.	KARAKTERISTIK AIR.....	19
2.7.1	Hidrogen	20
2.7.2	Oksigen	22
2.8.	HUKUM-HUKUM FISIKA DAN KIMIA	23
2.8.1	Hukum Kekekalan Energi.....	23
2.8.2	Hukum Kekekalan Massa (Hukum Lavoiser).....	23
2.8.3	Persamaan-Persamaan Gas Ideal	23
2.9.	PRINSIP KERJA KARBURATOR.....	25
2.10.	DYNAMOMETER DYNO DYNAMICS	29
2.10.1	Perhitungan Yang Berhubungan Dengan Inertia Chasis Dynamometer.	29
2.10.2	Pengukuran Tenaga Mesin.....	30
2.10.3	Cara Kerja Inersia pada Dynamometer Jenis Rolling Road	32
2.11.	KAPASITOR (KONDENSATOR)	34
2.11.1	Kapasitansi	35
2.11.2	Wujud dan Macam Kondensator	36
2.11.3	Rangkaian Kapasitor.....	37
2.11.4	Fungsi Kapasitor	38
2.11.5	Tipe Kapasitor.....	38
BAB 3.	METODE PENELITIAN.....	41
3.1	PENELITIAN	41
3.2	ALAT UJI.....	41
3.3	SKEMATIK ALAT UJI	48
3.3.1	Pengukuran Laju Gas Hidrogen	50
3.4	PROSEDUR PENGUJIAN dan PENGAMBILAN DATA.....	52
3.4.1	Prosedur Pengujian Konsumsi Bahan Bakar dengan Melakukan Uji Jalan Kendaraan	52
3.4.2	Proses Pengujian Emisi Kendaraan Hasil Pembakaran	54

3.4.3	Proses Pengujian Daya dan Torsi Kendaraan	56
BAB 4.	HASIL DAN ANALISA.....	57
4.1.	HASIL PENGUKURAN LAJU PRODUKSI GAS ELEKROLISA.....	57
4.2.	PERHITUNGAN KESETIMBANGAN ENERGI	58
4.3.	PENGUJIAN KONSUMSI BAHAN BAKAR DAN EFISIENSI	59
4.4.	ANALISA EMISI GAS BUANG.....	62
4.4.1	Kandungan CO pada Gas Buang	62
4.4.2	Kandungan CO ₂ pada Gas Buang	64
4.4.3	Kandungan HC pada Gas Buang	65
4.4.4	Kandungan O ₂ pada Gas Buang	66
4.5.	BRAKE HORSE POWER.....	67
4.6.	EFISIENSI BIAYA	72
BAB 5.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	74
5.1	KESIMPULAN.....	74
5.2	SARAN.....	75
	DAFTAR PUSTAKA	76
	LAMPIRAN.....	77
	Lampiran 1. Data laju produksi gas elektrolisa air per menit	77
	Lampiran 2. Data pengujian konsumsi bahan bakar pertamax	77
	Lampiran 3. Kadar emisi gas buang pada kondisi standar	78
	Lampiran 4. Kadar emisi gas buang pada kondisi standar dengan penambahan gas hidrogen	78
	Lampiran 5. Kadar emisi gas buang dengan pilot jet diperkecil tanpa penambahan gas hidrogen	78
	Lampiran 6. Kadar Emisi gas buang dengan pilot jet diperkecil dengan penambahan gas hidrogen	79
	Lampiran 7. Standar SNI mengenai uji konsumsi bahan bakar untuk sepeda motor	80

DAFTAR GAMBAR

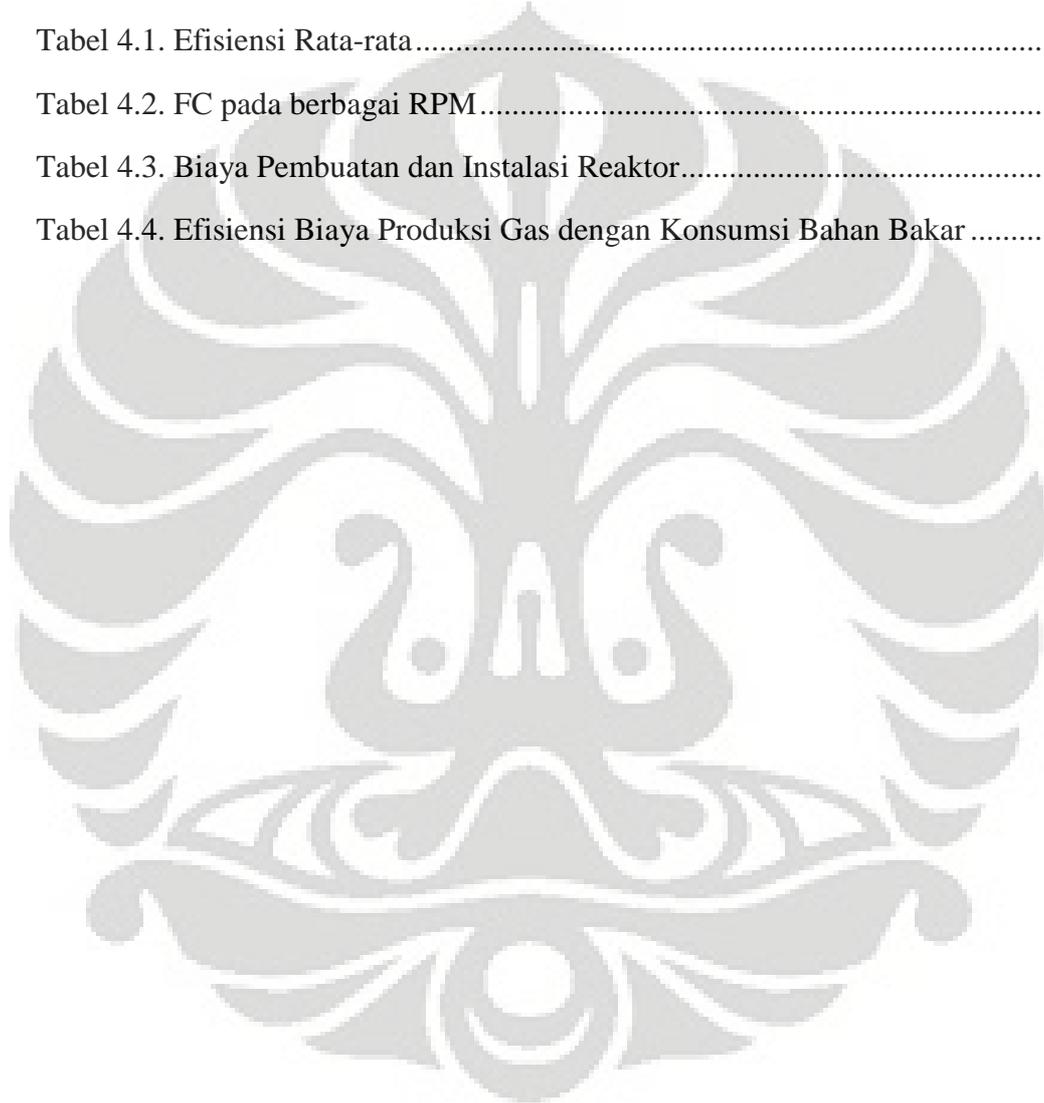
Gambar 1.1. Grafik kenaikan suhu global antara tahun 1861-2000.	1
Gambar 1.2. Siklus H ₂ O.....	2
Gambar 1.3. Hanya bahan bakar hidrogen yang memenuhi ke-tiganya.	3
Gambar 2.1. Proses kerja motor Otto empat langkah	8
Gambar 2.2. Diagram P-V dan T-S ideal motor Otto empat langkah.....	9
Gambar 2.3. ikatan kima air.....	19
Gambar 2.4. Sifat kemampuan bakar berbagai jenis bahan bakar	22
Gambar 2.5 kinerja karburator, (a) idle, (b) throttle terbuka lebar	26
Gambar 2.6 Cara kerja venturi, kecepatan tinggi fluida menurunkan tekanan statisnya.....	27
Gambar 2.7. Skema sederhana karburator	27
Gambar 3.1 Sepeda motor Honda Supra X 125 cc	42
Gambar 3.2. Tabung Reaktor Set.....	43
Gambar 3.3. Tabung ukur gas keluaran elektrolisa air	43
Gambar 3.4. Technotest 488 plus gas analyzer.....	45
Gambar 3.5. Lowboy Chasis AWD.	46
Gambar 3.6. Dudukan/Tempat Reaktor	47
Gambar 3.7. Skema alat uji tanpa gas Hidrogen.....	48
Gambar 3.8. Skema alat uji dengan injeksi gas Hidrogen.	49
Gambar 3.9. Posisi injeksi gas elektrolisa air pada air filter.....	49
Gambar 3.10. Pilot jet ukuran standard dan ukuran yang telah diperkecil	50
Gambar 3.11. Skema Pengukuran Gas Volume Gas hasil elektrolisa	51
Gambar 4.1. Grafik produksi gas/menit.....	57
Gambar 4.2. Grafik konsumsi BBM pada berbagai kondisi	60
Gambar 4.3. Grafik persentase penghematan BBM.....	61
Gambar 4.4. Kadar CO pada pengujian dengan berbagai kondisi.	63
Gambar 4.5. Kadar CO ₂ pada pengujian dengan berbagai kondisi.	65

Gambar 4.6. Kadar HC pada pengujian dengan berbagai kondisi.....	65
Gambar 4.7. Kadar O ₂ pada pengujian dengan berbagai kondisi.....	66
Gambar 4.8. Grafik BHP dalam kondisi standar	68
Gambar 4.9. Grafik Torsi dalam kondisi standar.....	68
Gambar 4.10. Grafik BHP dalam kondisi standar ditambah dengan gas hidrogen	69
Gambar 4.11. Grafik Torsi dalam kondisi standar ditambah dengan gas hidrogen	69
Gambar 4.12. Grafik BHP dalam kondisi pilot jet diperkecil tanpa gas hidrogen	70
Gambar 4.13. Grafik Torsi dalam kondisi pilot jet diperkecil tanpa gas hidrogen	70
Gambar 4.14. Grafik BHP dalam kondisi pilot jet diperkecil dengan gas hidrogen	71
Gambar 4.15. Grafik Torsi dalam kondisi pilot jet diperkecil dengan gas hidrogen	71



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Sifat-sifat air	19
Tabel 2.2 Sifat kimia dan fisika hidrogen	21
Tabel 2.3. Nilai oktan berbagai bahan bakar	21
Tabel 2.4. Sifat Kimia dan fisika oksigen.....	22
Tabel 4.1. Efisiensi Rata-rata.....	62
Tabel 4.2. FC pada berbagai RPM.....	62
Tabel 4.3. Biaya Pembuatan dan Instalasi Reaktor.....	72
Tabel 4.4. Efisiensi Biaya Produksi Gas dengan Konsumsi Bahan Bakar	73



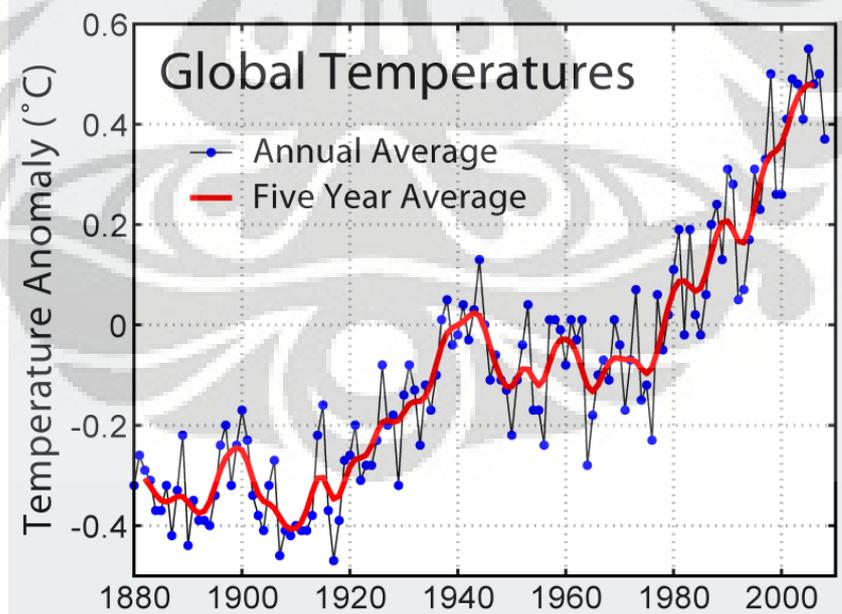
DAFTAR NOTASI

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	$\text{mol}^{-1}\text{m}^{-3}$
p	Tekanan	bar
t	Waktu	s
y	Fraksi mol	
μ_H	Massa satu atom hidrogen	kg
ρ	Massa jenis	kg/m^3
ρ_f	Massa jenis bahan bakar	kg/m^3

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

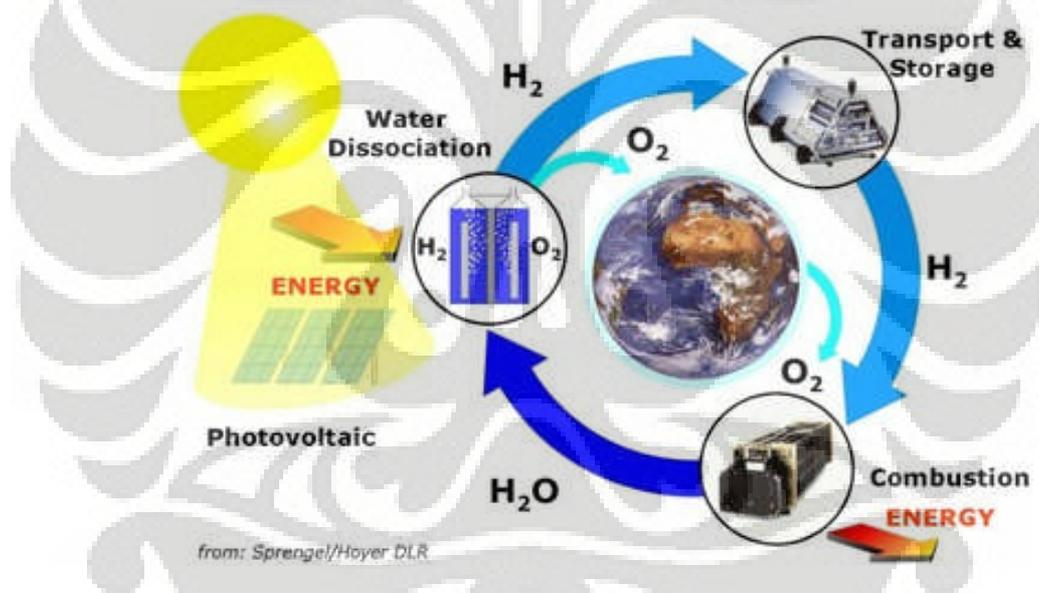
Masalah yang dihadapi dibelahan dunia manapun saat ini adalah masalah energi, dimana Bahan Bakar Minyak (BBM) merupakan salah satu energi utama yang digunakan oleh hampir seluruh aktifitas kehidupan manusia saat ini. Dari kegiatan rumah tangga, transportasi, hingga kegiatan produksi, hampir tidak ada 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.

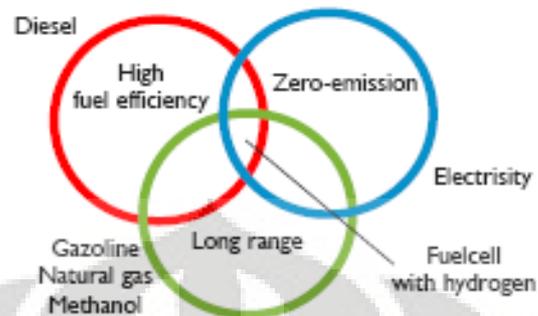


Gambar 1.2 Siklus H₂O.

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.
- Mengaplikasikan langsung penggunaan gas hasil elektrolisa air dalam kondisi nyata, yaitu dengan melakukan uji jalan kendaraan.
- Membandingkan dan mengetahui jumlah penghematan yang dapat diperoleh pada kendaraan bermotor yang diperkecil ukuran pilot jet-nya dan diberi gas elektrolisa air dengan uji jalan.

- Membandingkan dan mengetahui perubahan komposisi gas buang pada kendaraan bermotor setelah penambahan gas hasil elektrolisa air
- Membandingkan dan mengetahui daya dan torsi yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor setelah diberikan gas hasil elektrolisa dan di perkecil pilot jet.

1.4. BATASAN MASALAH

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu :

- Pembahasan dilakukan pada hal-hal yang berkaitan dengan motor bensin 4 langkah dan sistem pengaplikasian gas hasil lektrolisa air pada sistem bahan bakar untuk mengetahui tingkat konsumsi, prestasi mesin, dan kualitas emisi yang dihasilkan.
- Parameter-parameter yang diamati saat penelitian hanyalah pada konsumsi bahan bakar, parameter prestasi mesin berupa daya keluaran dan torsi kendaraan , serta kandungan emisi gas buang (HC, O₂, CO, CO₂).
- 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 kelistrikan sepeda motor yaitu battrey/accu.

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, dasar teori motor bakar, teor dynamometer, dan teori kapasitor

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 menggunakan 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.

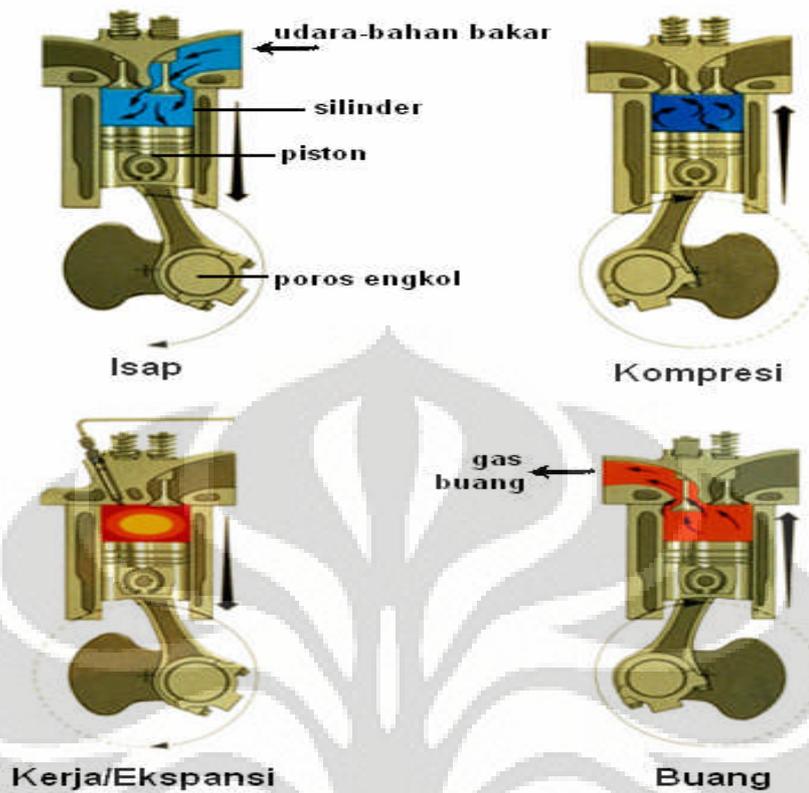
3. Torak

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.

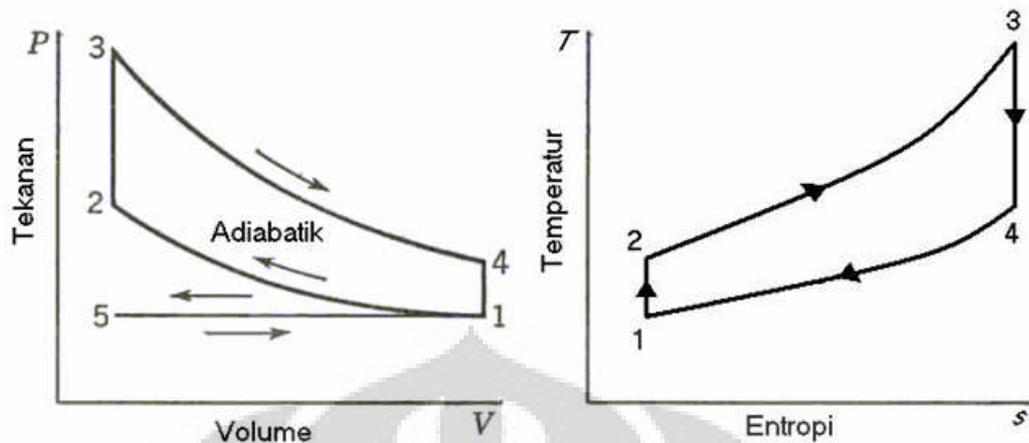


Gambar 2.1 Proses kerja motor Otto empat langkah

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 ($\overset{o}{m}_f$)

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

Keterangan:

$\overset{o}{m}_f$ = 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 ($\overset{\circ}{m}_a$)

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

Keterangan :

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

$\overset{\circ}{m}_a$ = 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)

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

keterangan :

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

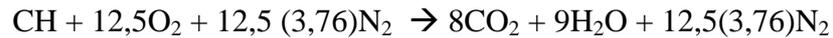
BFC = konsumsi bahan bakar (l/h)

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 lainnya 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 :

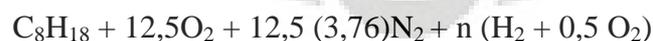
Massa bahan bakar (mf) adalah 1 kmol (114 kg/kmol) = 114 kg. Massa udara (ma) adalah 12,5 (4,76) kmol (29 kg/kmol) = 1725,5 kg , sehingga AFR untuk reaksi tersebut

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

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 H₂ + 0,5 O₂ , 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 H₂ 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 (NO_x) 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 seimbang 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)

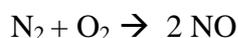
Emisi hidrokarbon yang tidak terbakar merupakan hal berkaitan langsung dengan pembakaran yang tidak sempurna. Bentuk emisi hidrokarbon dipengaruhi oleh banyak variable disain dan operasi. Salah satunya dapat disebabkan karena penyalaan yang tidak stabil (misfire). Oksidasi dari hidrokarbon merupakan 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 (NO_x)

Bahan pencemar (polutan) yang berasal dari kendaraan bermotor di bedakan menjadi polutan primer atau sekunder. Polutan primer seperti sulfur oksida (Sox), nitrogen oksida (NO_x) dan hidrokarbon (HC) langsung dibuang 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 NO_x adalah nitrogen oksida (NO) yang dapat dikonversikan lagi menjadi nitrogen dioksida (NO₂) dan nitrogen tetraoksida (N₂O₄). Oksida-oksida nitrogen (NO_x) 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.

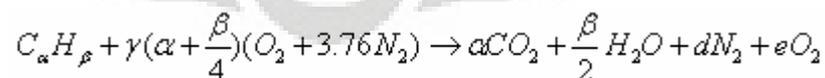
2.5.4. Udara Berlebih (Excess Air)

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.

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

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

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.

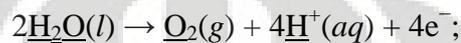
Contoh reaksi reduksi :



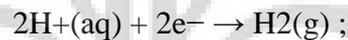
Pada reaksi oksidasi, elektron berada di ruas kanan

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

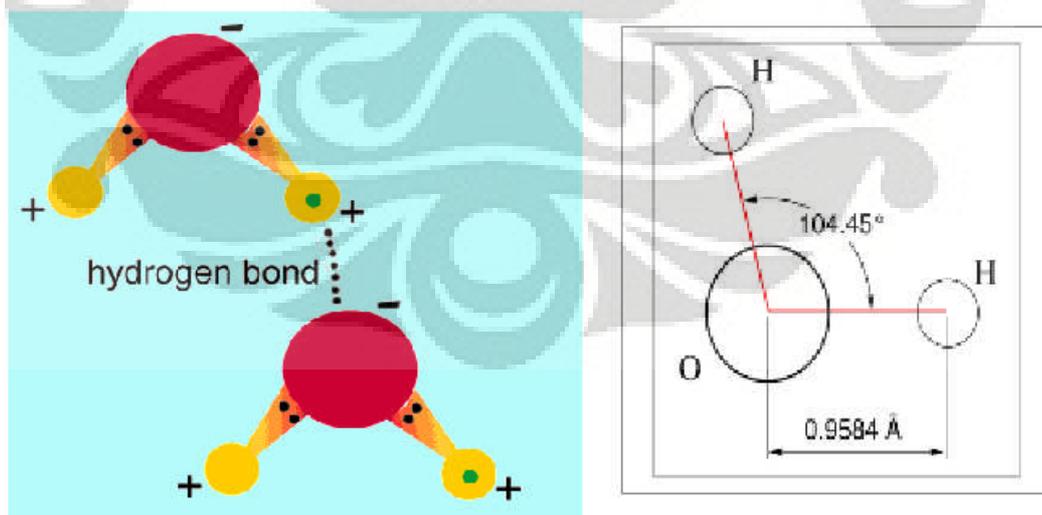
Oksidator = Zat yang mengalami reduksi

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 °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

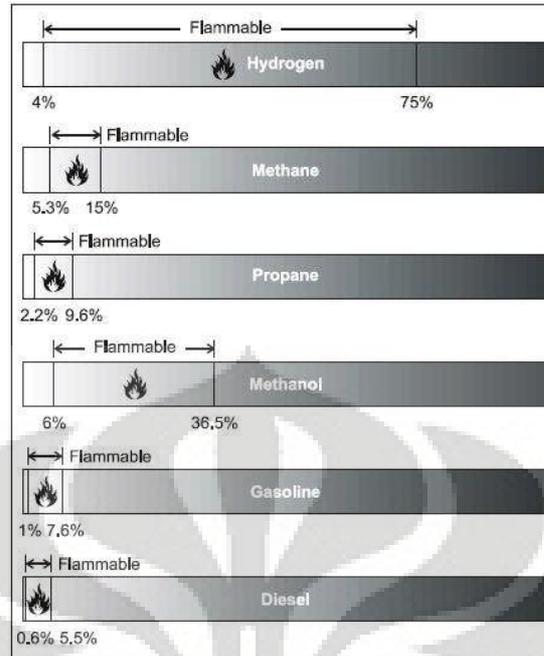
Sifat kimia dan fisika hidrogen	
<u>Fase Massa jenis</u>	gas
<u>Massa jenis</u>	(0°C;101,325kPa) 0,08988 g/L
<u>Titik lebur</u>	14,01 <u>K</u> (-259,14 ° <u>C</u> , -434,45° <u>F</u>)
<u>Titik didih</u>	20,28 <u>K</u> (-252,87 ° <u>C</u> , -423,17 ° <u>F</u>)
<u>Kalor peleburan</u>	(H ₂) 0,117 kJ/mol
<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> <u>Massa jenis</u>	<u>gas</u>
<u>Massa jenis</u>	(0 °C; 101,325 kPa) 1,429 g/L

<u>Titik lebur</u>	54,36 <u>K</u> (-218,79 ° <u>C</u> , -361,82 ° <u>F</u>)
<u>Titik didih</u>	90,20 <u>K</u> (-182,95 ° <u>C</u> , -297,31 ° <u>F</u>)
<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

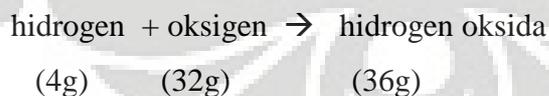
E_p = energi kinetik

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:

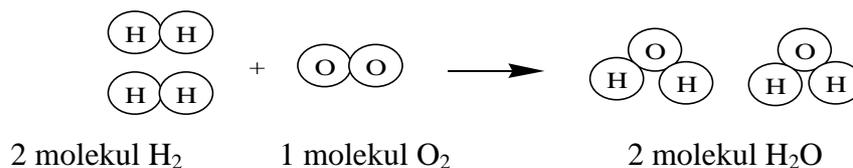
$$P_1 \cdot V_1 / T_1 = P_2 \cdot V_2 / T_2 \dots\dots\dots (2.8)$$

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 H_2O



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 ekivalen = $A_r / \text{Valensi} = M_r / \text{Valensi}$

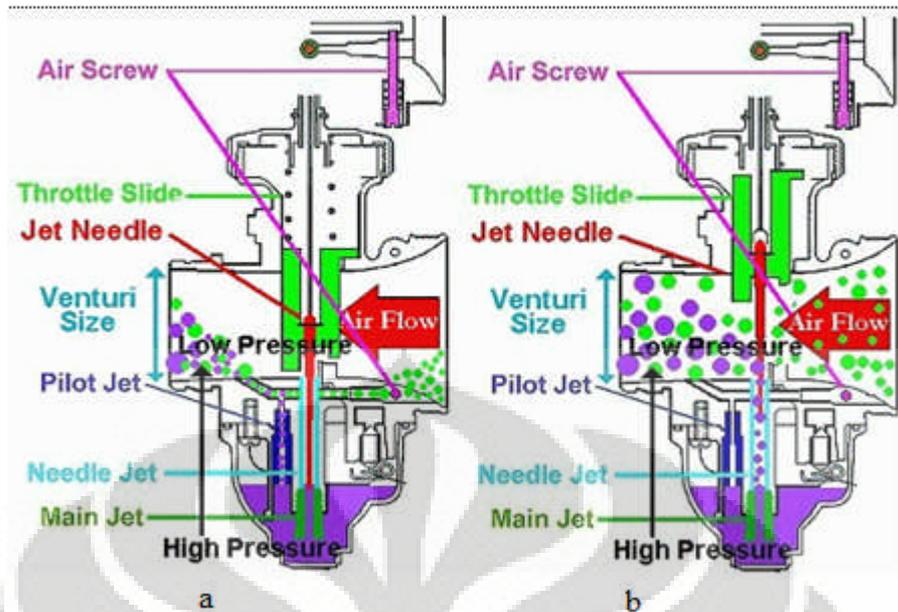
i = kuat arus listrik (amper)

t = waktu (detik)

q = muatan listrik (coulomb)

2.9. PRINSIP KERJA KARBURATOR

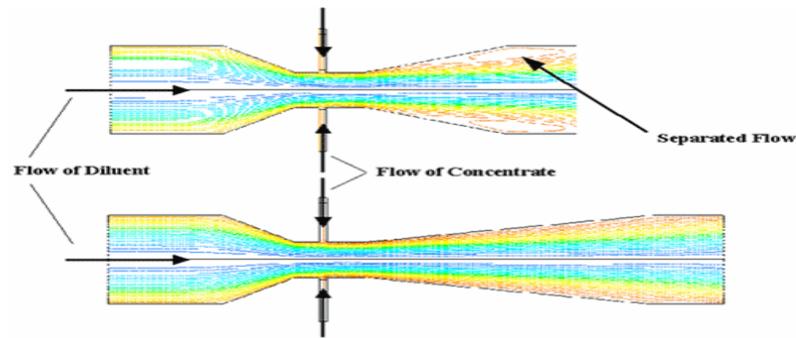
Karburator adalah bagian penting dari motor bakar. Karburator merupakan sebuah alat yang berfungsi untuk mengabutkan bahan bakar cair dan mencampur udara dengan bahan bakar cair tersebut. Idealnya, karburator harus mencampur bahan bakar cair dengan udara dengan perbandingan sekitar 14,7:1, dengan kata 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-iptek.blogspot.com/feeds/posts/default

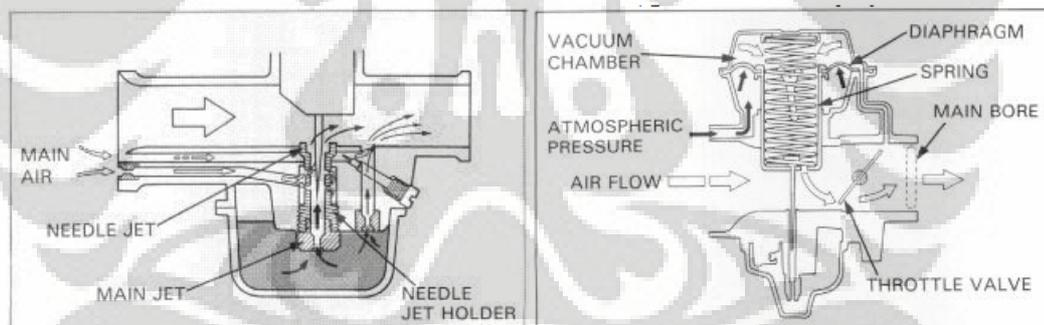
Karburator bekerja menggunakan prinsip kerja Bernoulli: semakin cepat udara bergerak, semakin kecil tekanan statisnya, dan semakin besar tekanan dinamikanya. Pengemudi kendaraan menaikkan dan menurunkan kecepatan putar mesin dengan menggunakan throttle, namun throttle tidak secara langsung mengontrol 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.

2.10 DINAMOMETER DYNODINAMICS

Alat dinamometer yang digunakan bertipe *Lowboy chassis A WD (All Wheel Drive)*, dengan kemampuan di masing-masing *roller* sebesar 600 hp (450 kW). Alat dinamometer ini dapat digunakan oleh kendaraan beroda empat maupun kendaraan beroda dua (sepeda motor) dan bersifat *real time*.

Data yang didapatkan saat *snap shot* : Tampilan layar *snap shot* merekam informasi pada setiap saat operator menekan tombol yang ada pada *remote* modul. *Autograph snap shot* secara otomatis mengambil data *snap shot* sesuai dengan yang ditentukan antara kecepatan atau RPM selama grafik terbentuk. Ketika tombol *snap shot* sistem akan merekam secara real time nilai yang dipilih oleh operator. Data yang dihasilkan akan disimpan pada file pengambilan data dalam format teks ASCII namun dapat pula dengan program yang lainnya. Data bisa dimasukkan ke dalam *spreadsheet*, *database*, atau program *word processor* yang diinginkan.

2.10.1 Perhitungan Yang Berhubungan Dengan Inertia Chasis Dynamometer

$$LinearInertia(kg) = \frac{TractiveEffort(N) \times 3.6}{RampRate(km/h)} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$LinearInertia(kg) = \frac{Power(kW) \times 12960}{Speed(km/h) \times RampRate(km/h)} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$TractiveEffort(N) = \frac{LinearInertia(kg) \times RampRate(km/h)}{3.6} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$Power(kW) = \frac{LinearInertia(kg) \times RampRate(km/h)}{12960} \dots\dots\dots(2.13)$$

Perlu diketahui bahwa *Chassis Dynamometer* bukan merupakan suatu alat yang dapat melakukan segala dan bukan merupakan akhir dari segala penyetelan (*tuning*). Alat dinamometer efektif jika sang operator handal dalam mengoperasikannya, seperti halnya perlengkapan lainnya.

2.10.2 Pengukuran Tenaga Mesin

Pada faktanya tidak ada cara yang secara langsung dapat mengukur tenaga mesin, segala macam dinamometer mengukur torsi dan daya keluaran melakukan perhitungan dengan rumus BHP. Persamaan ini merupakan persamaan dasar yang mendasari segala jenis mesin, modifikasi, dan penyetelan (*tuning*). Dua metode utama yang digunakan dalam industri mesin adalah : (1) Pengukuran pada *crankshaft* dari mesin, atau (2) *Roller road dynamometer* (pengukuran pada roda).

Berikut ini kita bahas mengenai perbedaan dari kedua metode tersebut:

(1) Dinamometer mesin

Apabila kita hanya ingin mengetahui power dari mesin maka kita menggunakan dinamometer khusus untuk mesin. Ini menyerupai pada manufaktur *output shaft* dari mesin kendaraan. Mesin diletakkan pada dudukannya kemudian dihubungkan pada dynamometer, biasanya menggunakan *Propeler Shaft* (as kopel) yang dihubungkan pada bagian belakang dari poros engkol (atau pada roda gila). Gambaran dari *power* yang diukur dengan cara ini umumnya disebut sebagai "*flywheel power*". Alat Dinamometer memerlukan pengereman (rem) dimana digunakan untuk mengetahui torsi (atau beban) dari mesin tersebut. Pada saat mesin ditahan pada kecepatan tetap dengan beban yang diberikan oleh dinamometer kemudian torsi yang telah

diberikan oleh dinamometer harus dengan tepat menyamakan dengan torsi yang dihasilkan oleh mesin.

Sebagai contoh, apabila kita ingin mengetahui torsi mesin pada saat *wide open throttle* (WOT) di rpm 4000. *Throttle* secara perlahan-lahan akan membuka dan pada saat yang bersamaan beban yang diberikan oleh dinamometer juga bertambah – kemungkinan dengan memainkan besaran dari beban yang diberikan kita mencapai keadaan dimana skep karburator dibuka penuh dan rpm tetap pada 4000. Torsi yang diberikan dicatat kemudian pengoperasian diulang pada interval lain seperti rpm 5000. Dengan meneruskan proses ini kita akan mendapatkan grafik torsi dari keseluruhan putaran mesin. Tentu saja kita juga bisa melakukan pengukuran dengan bukaan skep karburator yang tidak *full* bila diinginkan. Alat dinamometer yang modern dikontrol oleh sistem komputer dan bisa menghasilkan kurva tenaga dan torsi dengan cepat dan seorang operatornya pun tidak perlu bersusah payah untuk mengatur *throttle* dan kontrol beban secara manual. Hal itu bisa diprogram untuk mengukur di setiap kelipatan rpm, sebagai contoh pada setiap penambahan 250 atau 500 rpm.

(2) *Rolling Road Dynamometer*

Biasa disebut dengan *chassis* dinamometer, digunakan untuk mengukur tenaga yang dihasilkan pada roda kendaraan. Alat ini diciptakan agar kita tidak perlu bersusah payah untuk melepaskan mesin dari kendaraannya hanya untuk tujuan melakukan tuning modifikasi yang telah ada. Bagaimanapun juga, hal ini berarti gambaran power yang terbentuk akan lebih rendah dibandingkan dengan *flywheel power* karena adanya *frictional losses* pada transmisi dan ban. Selanjutnya kita terangkan cara kerja rolling road dynamometer. Kendaraan dinaikkan keatas *chassis dyno* dan letakkan roda tepat diatas roller kemudian di

ikat menggunakan strap. Torsi diukur pada kecepatan yang berbeda akan tetapi tepat sama seperti pada mesin dinamometer kecuali torsi pada roller lebih baik daripada torsi pada *flywheel*.

Beban pengereman dihasilkan oleh salah satu roller dengan menggunakan hidrolis (*water brake*) atau dengan sistem elektrik sama pada *engine dyno* yang mengaplikasikan torsi pada *crankshaft* dari mesin. Perhitungan umum yang sama, $BHP = \text{Torsi (ft/lbs)} \times \text{rpm} / 5252$, bisa digunakan untuk menghitung bhp pada roller dengan mengetahui torsi dan rpm pada roller (bukan rpm pada mesin). Tapi bila rpm mesin diukur secara serentak atau berbarengan maka kita juga dapat mengetahui bhp di roller pada rpm mesin utama.

Masalah besar yang kita hadapi pada dinamometer tipe seperti ini adalah bila terjadinya slip pada ban. Kita ketahui bahwa permukaan dari roller adalah besi yang memiliki grip halus, dimana lama kelamaan akan menjadi licin. Kita bisa bayangkan perbedaan grip yang dihasilkan antara besi dibandingkan dengan permukaan aspal. Efek dari slipnya ban ini cukup kompleks sehingga grafik yang dihasilkan akan terlihat tidak bagus, namun hal ini bisa diminimalisir dengan menggunakan ban yang memiliki tapak permukaan yang lebar dan dengan tekanan ban yang tepat.

2.10.3 Cara Kerja Inersia pada Dinamometer Jenis Rolling Road

Sebagian besar jenis *dyno rolling road* yang sering dipakai untuk menentukan kekuatan bentuk di US adalah dynamometer inersia. *Inersia dyno* tidak secara langsung mengukur gaya pada perputaran roller dyno ke dalam penentuan kekuatan bentuknya. Dari beberapa sistem tersebut untuk melakukan perhitungan gaya (*force*) dalam perputaran digunakan rumus :

$$F = m \cdot a \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana,

$F = \text{gaya (N)}$

$m = \text{massa (kg)}$

$a = \text{percepatan (m/s}^2\text{)}$

Massa dan sistem inertia dari perputaran dyno telah kita ketahui sebelumnya. Dimana untuk menghitung kekuatan yang digunakan, dyno inersia mengukur kecepatan dari perputaran berdasarkan pengukuran peningkatan dalam aliran dan *voltage* yang dihasilkan ketika *dyno eddy* mengalir secara *retarders* di pakai sebagai generator pembangkit dari pada power yang diserap (dipakai sebagai penahan beban dinamometer ketika melakukan penyetelan mesin).

Gaya pada roller dimana massa roller dikalikan oleh percepatan ditentukan oleh *voltage output*. Gaya ini dikalikan oleh radius dari perputaran itu sendiri untuk memberikan torsi pada roda, persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$T = F \cdot r \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana,

$T = \text{torsi}$

$F = \text{gaya}$

$r = \text{radius atau jarak yang diaplikasikan.}$

Power ditentukan dengan rumus

$$\text{BHP} = \text{Torsi (ft/lbs) x rpm / 5252} \dots\dots\dots(2.16)$$

Rumus ini kemudian digunakan untuk mengukur power pada roda. Apabila point-point power yang terjadi pada mesin ini digunakan sebagai acuan, maka gambaran power ini bisa dijadikan plot kurva power. Untuk menggambarkan power yang terjadi pada *flywheel*, penurunan coast prosedur dipakai untuk mengukur deselerasi pada roller, dan memakai gambaran ini sebagai kecepatan

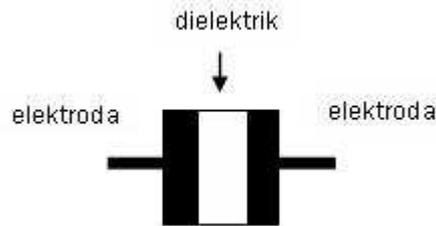
negative dan rumus $F = ma$ kembali digunakan untuk mengetahui power yang hilang melalui transmisi.

Masalah besar yang dihadapi adalah ketika perubahan terjadi pada setiap sistem yang mengalami perputaran. Dalam hal ini termasuk didalamnya seperti kopling, *flywheel*, atau roda. Bagian-bagian tersebut tidak mempengaruhi power pada mesin, akan tetapi bagaimanapun juga hal tersebut akan merubah atau mempengaruhi hasil pengukuran *output power* dalam *inersia dyno*. Ini merupakan alasan lain mengapa angka yang dihasilkan oleh dinamometer tidak dapat menjamin keakuratannya lebih dari 5%.

2.11 KAPASITOR (KONDENSATOR)

Kapasitor (Kondensator) yang dalam rangkaian elektronika dilambangkan dengan huruf "C" adalah suatu alat yang dapat menyimpan energi/muatan listrik di dalam medan listrik, dengan cara mengumpulkan ketidakseimbangan internal dari muatan listrik. Kapasitor ditemukan oleh Michael Faraday (1791-1867). Satuan kapasitor disebut Farad (F). Satu Farad = $9 \times 10^{11} \text{ cm}^2$ yang artinya luas permukaan kepingan tersebut.

Struktur sebuah kapasitor terbuat dari 2 buah plat metal yang dipisahkan oleh suatu bahan dielektrik. Bahan-bahan dielektrik yang umum dikenal misalnya udara vakum, keramik, gelas dan lain-lain. Jika kedua ujung plat metal diberi tegangan listrik, maka muatan-muatan positif akan mengumpul pada salah satu kaki (elektroda) metalnya dan pada saat yang sama muatan-muatan negatif terkumpul pada ujung metal yang satu lagi. Muatan positif tidak dapat mengalir menuju ujung kutub negatif dan sebaliknya muatan negatif tidak bisa menuju ke ujung kutub positif, karena terpisah oleh bahan dielektrik yang non-konduktif. Muatan elektrik ini tersimpan selama tidak ada konduksi pada ujung-ujung kakinya. Di alam bebas, fenomena kapasitor ini terjadi pada saat terkumpulnya muatan-muatan positif dan negatif di awan.



2.11.1 Kapasitansi

Kapasitansi didefinisikan sebagai kemampuan dari suatu kapasitor untuk dapat menampung muatan elektron. Coulombs pada abad 18 menghitung bahwa 1 coulomb = 6.25×10^{18} elektron. Kemudian Michael Faraday membuat postulat bahwa sebuah kapasitor akan memiliki kapasitansi sebesar 1 farad jika dengan tegangan 1 volt dapat memuat muatan elektron sebanyak 1 coulombs. Dengan rumus dapat ditulis :

$$Q = C V \dots\dots\dots(2.17)$$

Q = muatan elektron dalam C (coulombs)

C = nilai kapasitansi dalam F (farad)

V = besar tegangan dalam V (volt)

Untuk rangkaian elektronik praktis, satuan farad adalah sangat besar sekali. Umumnya kapasitor yang ada di pasaran memiliki satuan : μF , nF dan pF.

1 Farad = 1.000.000 μF (mikro Farad)

1 μF = 1.000.000 pF (piko Farad)

1 μF = 1.000 nF (nano Farad)

1 nF = 1.000 pF (piko Farad)

1 pF = 1.000 $\mu\mu\text{F}$ (mikro-mikro Farad)

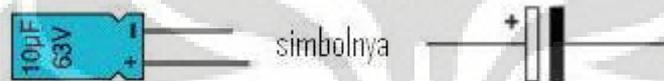
1 μF = 10^{-6} F

$$1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$$

$$1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$$

Konversi satuan penting diketahui untuk memudahkan membaca besaran sebuah kapasitor. Misalnya $0.047\mu\text{F}$ dapat juga dibaca sebagai 47nF , atau contoh lain 0.1nF sama dengan 100pF .

Kapasitor (Kondensator) diidentikkan mempunyai dua kaki dan dua kutub yaitu positif dan negatif serta memiliki cairan elektrolit dan biasanya berbentuk tabung.



Sedangkan jenis yang satunya lagi kebanyakan nilai kapasitasnya lebih rendah, tidak mempunyai kutub positif atau negatif pada kakinya, kebanyakan berbentuk bulat pipih berwarna coklat, merah, hijau dan lainnya seperti tablet atau kancing baju yang sering disebut kapasitor (*capacitor*).



2.11.2 Wujud dan Macam Kondensator

Berdasarkan kegunaannya kondensator di bagi menjadi :

1. Kondensator tetap (nilai kapasitasnya tetap tidak dapat diubah)
2. Kondensator elektrolit (Electrolit Condenser = Elco)
3. Kondensator variabel (nilai kapasitasnya dapat diubah-ubah)

Pada kapasitor yang berukuran besar, nilai kapasitansi umumnya ditulis dengan angka yang jelas. Lengkap dengan nilai tegangan maksimum dan polaritasnya. Misalnya pada kapasitor elco dengan jelas tertulis kapasitansinya sebesar 100 μ F25v yang artinya kapasitor/ kondensator tersebut memiliki nilai kapasitansi 100 μ F dengan tegangan kerja maksimal yang diperbolehkan sebesar 25 volt.

2.11.3 Rangkaian Kapasitor

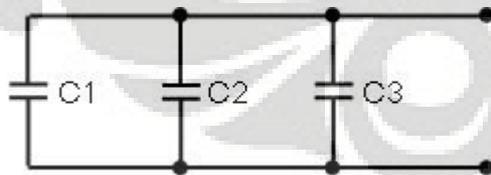
Rangkaian kapasitor secara seri akan mengakibatkan nilai kapasitansi total semakin kecil. Di bawah ini contoh kapasitor yang dirangkai secara seri.



Pada rangkaian kapasitor yang dirangkai secara seri berlaku rumus :

$$\frac{1}{C_{\text{TOTAL}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \dots\dots\dots(2.17)$$

Rangkaian kapasitor secara paralel akan mengakibatkan nilai kapasitansi pengganti semakin besar. Di bawah ini contoh kapasitor yang dirangkai secara paralel.



Pada rangkaian kapasitor paralel berlaku rumus :

$$C_{\text{TOTAL}} = C_1 + C_2 + C_3 \dots\dots\dots(2.18)$$

2.11.4 Fungsi Kapasitor

Fungsi penggunaan kapasitor dalam suatu rangkaian :

1. Sebagai kopling antara rangkaian yang satu dengan rangkaian yang lain (pada PS = Power Supply)
2. Sebagai filter dalam rangkaian PS
3. Sebagai pembangkit frekuensi dalam rangkaian antenna
4. Untuk menghemat daya listrik pada lampu neon
5. Menghilangkan bouncing (loncatan api) bila dipasang pada saklar

2.11.5 Tipe Kapasitor

Kapasitor terdiri dari beberapa tipe, tergantung dari bahan dielektriknya. Untuk lebih sederhana dapat dibagi menjadi 3 bagian, yaitu kapasitor electrostatic, electrolytic dan electrochemical.

- **Kapasitor Electrostatic**

Kapasitor electrostatic adalah kelompok kapasitor yang dibuat dengan bahan dielektrik dari keramik, film dan mika. Keramik dan mika adalah bahan yang populer serta murah untuk membuat kapasitor yang kapasitansinya kecil. Tersedia dari besaran pF sampai beberapa μF , yang biasanya untuk aplikasi rangkaian yang berkenaan dengan frekuensi tinggi. Termasuk kelompok bahan dielektrik film adalah bahan-bahan material seperti polyester (polyethylene terephthalate atau dikenal dengan sebutan mylar), polystyrene, polypropylene, polycarbonate, metalized paper dan lainnya.

Mylar, MKM, MKT adalah beberapa contoh sebutan merek dagang untuk kapasitor dengan bahan-bahan dielektrik film. Umumnya kapasitor kelompok ini adalah non-polar.

- **Kapasitor Electrolytic**

Kelompok kapasitor electrolytic terdiri dari kapasitor-kapasitor yang bahan dielektriknya adalah lapisan metal-oksida. Umumnya kapasitor yang termasuk kelompok ini adalah kapasitor polar dengan tanda + dan – di badannya. Mengapa kapasitor ini dapat memiliki polaritas, adalah karena proses pembuatannya menggunakan elektrolisa sehingga terbentuk kutub positif anoda dan kutub negatif katoda.

Telah lama diketahui beberapa metal seperti tantalum, aluminium, magnesium, titanium, niobium, zirconium dan seng (zinc) permukaannya dapat dioksidasi sehingga membentuk lapisan metal-oksida (oxide film). Lapisan oksidasi ini terbentuk melalui proses elektrolisa, seperti pada proses penyepuhan emas. Elektroda metal yang dicelup ke dalam larutan elektrolit (sodium borate) lalu diberi tegangan positif (anoda) dan larutan electrolyte diberi tegangan negatif (katoda). Oksigen pada larutan electrolyte terlepas dan mengoksidasi permukaan plat metal. Contohnya, jika digunakan Aluminium, maka akan terbentuk lapisan Aluminium-oksida (Al_2O_3) pada permukaannya.



Dengan demikian berturut-turut plat metal (anoda), lapisan-metal-oksida dan electrolyte (katoda) membentuk kapasitor. Dalam hal ini lapisan-metal-oksida sebagai dielektrik. Dari rumus (2) diketahui besar kapasitansi berbanding terbalik dengan tebal dielektrik. Lapisan metal-oksida ini sangat tipis, sehingga dengan demikian dapat dibuat kapasitor yang kapasitansinya cukup besar.

Karena alasan ekonomis dan praktis, umumnya bahan metal yang banyak digunakan adalah aluminium dan tantalum. Bahan yang paling banyak dan murah adalah aluminium. Untuk mendapatkan permukaan yang luas, bahan plat

Aluminium ini biasanya digulung radial. Sehingga dengan cara itu dapat diperoleh kapasitor yang kapasitansinya besar. Sebagai contoh 100uF, 470uF, 4700uF dan lain-lain, yang sering juga disebut kapasitor *elco*.

Bahan electrolyte pada kapasitor tantalum ada yang cair tetapi ada juga yang padat. Disebut electrolyte padat, tetapi sebenarnya bukan larutan elektrolit yang menjadi elektroda negatif-nya, melainkan bahan lain yaitu manganese-dioksida. Dengan demikian kapasitor jenis ini bisa memiliki kapasitansi yang besar namun menjadi lebih ramping dan mungil. Selain itu karena seluruhnya padat, maka waktu kerjanya (*lifetime*) menjadi lebih tahan lama. Kapasitor tipe ini juga memiliki arus bocor yang sangat kecil Jadi dapat dipahami mengapa kapasitor Tantalum menjadi relatif mahal.

- Kapasitor Electrochemical

Satu jenis kapasitor lain adalah kapasitor electrochemical. Termasuk kapasitor jenis ini adalah battery dan accu. Pada kenyataannya battery dan accu adalah kapasitor yang sangat baik, karena memiliki kapasitansi yang besar dan arus bocor (*leakage current*) yang sangat kecil. Tipe kapasitor jenis ini juga masih dalam pengembangan untuk mendapatkan kapasitansi yang besar namun kecil dan ringan, misalnya untuk aplikasi mobil elektrik dan telepon selular.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental dengan rangkaian urutan kegiatan sebagai berikut:

- Memilih subjek penelitian
- Melakukan studi literatur
- Melakukan pembuatan sistem penyaluran gas
- Melakukan instalasi alat uji
- Melakukan eksperimen pengujian

Pengujian dilakukan dalam 3 kategori :

- a. Membandingkan konsumsi bahan bakar dengan menggunakan dan tanpa menggunakan gas hidrogen disertai pengecilan pilot jet dan kondisi standar melalui uji jalan sepeda motor
 - b. Membandingkan emisi yang dihasilkan dengan menggunakan dan tanpa menggunakan gas hidrogen disertai pengecilan pilot jet dan kondisi standar
 - c. Membandingkan daya keluaran yang dihasilkan dengan menggunakan gas hidrogen dan tanpa menggunakan gas hidrogen disertai pengecilan pilot jet dan kondisi standar melalui uji Dynometer
- Mengumpulkan dan mengolah data-data yang diperoleh serta mengevaluasinya
 - Mempresentasikan hasil penelitian dalam bentuk grafik-grafik dan kemudian melakukan analisis

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 5.5 cm, 4 positif dan 4 negatif, yang disusun paralel saling bergantian



Gambar 3.2 Tabung Reaktor set

Tabung elektrolisa tersebut diisi air keran Departemen Teknik Mesin sebanyak 0.5 liter kemudian dicampur dengan elektrolit KOH sebanyak 1 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 cm³

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.

Prinsip Kerja Infra Red Gas Analyzer

Gas Analyzer akan menganalisis kandungan gas buang dan menghitung campuran udara-bahan bakar (λ). Gas buang diukur dengan memasukkan probe ke dalam gas buang kendaraan. Gas buang yang dianalisis telah dipisahkan dari kandungan airnya melalui saringan kondensasi yang lalu diteruskan ke sel pengukuran. Pemancar akan menghasilkan sinar infra merah yang dikirim melalui filter optis ke penerima sinar infra merah untuk menganalisis kandungan gas buang berupa CO, HC, CO₂, yang lalu diteruskan ke amplifier dan selanjutnya ditampilkan di display. Gas yang terdapat pada sel ukur akan menyerap sinar infra merah dengan panjang gelombang yang berbeda tergantung dari masing-masing konsentrasi gas. Gas H₂, N₂, dan O₂ (memiliki nomor atom yang sama) akan membentuk komposisi molekul dan tidak menyerap sinar infra merah.

Sehingga pengukuran ketiga komponen tersebut melalui sensor kimia.

5. Dinamometer

Merk : Dyno Dynamics

Model : Lowboy chassis AWD

Spesifikasi

- Max. Power (Depan) : 450 kW (600HP)

- Max. Power (Belakang) : 450 kW (600HP)
- Max. Power gabungan : 900 kW (1200HP)
- Kapasitas Beban : Berat kendaraan 4,500kg (10,000 lbs)
- Max. Speed : 250 km/h (150mph)
- Wheel Base Min. : 2,250mm (88.5")
- Wheel Base Max. : 3,500mm (138")



Gambar 3.5 Lowboy chassis AWD

Perhitungan-perhitungan yang dapat dihasilkan antara lain

1. Tenaga yang dihasilkan
2. Tractive Effort
3. Torsi mesin
4. Air Fuel Ratio atau lambda
5. Kecepatan roda
6. Kecepatan putaran mesin
7. Manifold vacuum/boost
8. Temperatur udara masuk
9. HC, O₂, CO, CO₂, NO_x
10. Diesel Opacity
11. Odometer

Jenis kendaraan yang dapat di diagnosa oleh dinamometer dynodynamics

1. Rear wheel drive/Tarikan roda belakang (2WD)
2. Front wheel drive/ Tarikan roda depan (2WD)

3. Kendaraan FWD/AWD
4. Recreational vehicles (RV)
5. Kendaraan balap dengan 2WD/4WD
6. Sport Utility Vehicles (SUV)
7. Light commercial vehicles
8. Sepeda motor

Menu Transmisi yang dapat dipilih

1. Rear wheel drive
 2. Front wheel drive
 3. All wheel drive
 4. Locked front:rear AWD/4WD
 5. Full time AWD/4WD
 6. Viscous coupled AWD/4WD
 7. Interlligent European AWD/4WD
-
6. Timbangan digital AND FX 4000
 7. Gelas ukur 100 ml, ketelitian 1 ml
 8. Stopwatch digital



Gambar 3.6 Dudukan/Tempat Tabung Reaktor

9. Dudukan/tempat tabung reaktor
10. Multitester
11. Capacitor Bank

Terdiri dari 25 kapasitor dengan ukuran $4700\mu\text{F}$ 25V yang dirangkai secara paralel.

3.3 SKEMATIK ALAT UJI

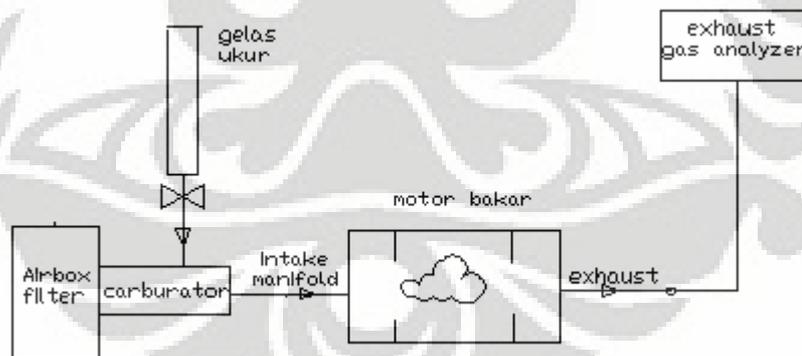
Metode pengujian dilakukan kedalam 3 kategori :

10. Pengujian Konsumsi Bahan Bakar dengan melakukan uji jalan kendaraan
11. Pengujian emisi hasil pembakaran
12. Pengujian daya dan torsi kendaraan

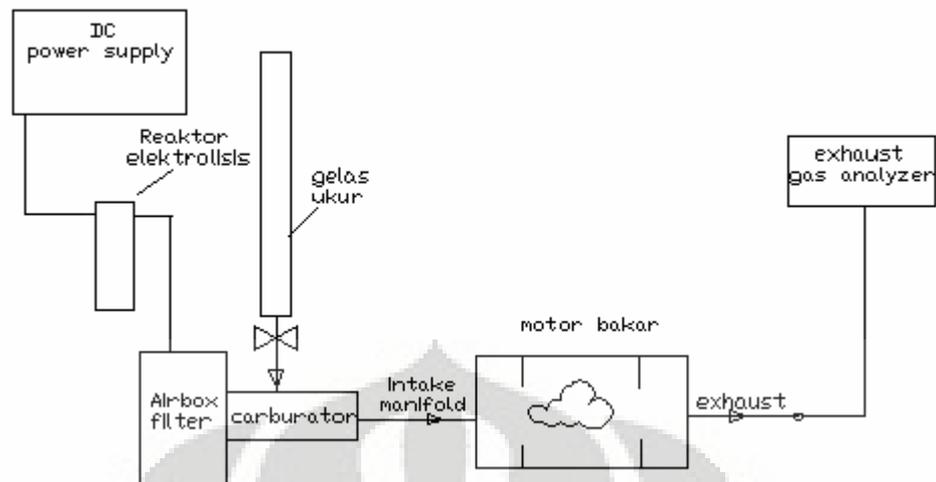
Di dalam setiap kategori, terdapat 4 tahap pengujian yang dilakukan. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan data pembandingan yaitu sebelum dan sesudah menggunakan gas hidrogen.

Tahap-tahap yang harus dilakukan dalam setiap pengujian adalah :

- a. Menguji kendaraan dalam kondisi standar
- b. Menguji kendaraan dalam kondisi standar dengan menggunakan gas hidrogen
- c. Menguji kendaraan dengan mengecilkan pilot jet tanpa menggunakan gas hidrogen
- d. Menguji kendaraan dengan mengecilkan pilot jet dengan menggunakan gas hidrogen



Gambar 3.7 Skema alat uji tanpa gas hidrogen



Gambar 3.8 Skema alat uji dengan ditambah gas hidrogen

Pengujian kendaraan dengan menggunakan tambahan gas hidrogen dapat dilihat pada gambar 3.8. dimana gas hasil elektrolisa air yaitu gas hidrogen dimasukkan setelah filter udara sebelum karburator.



Gambar 3.9 Posisi injeksi gas elektrolisa air pada air filter.

Ukuran pilot jet pada karburator di perkecil 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.



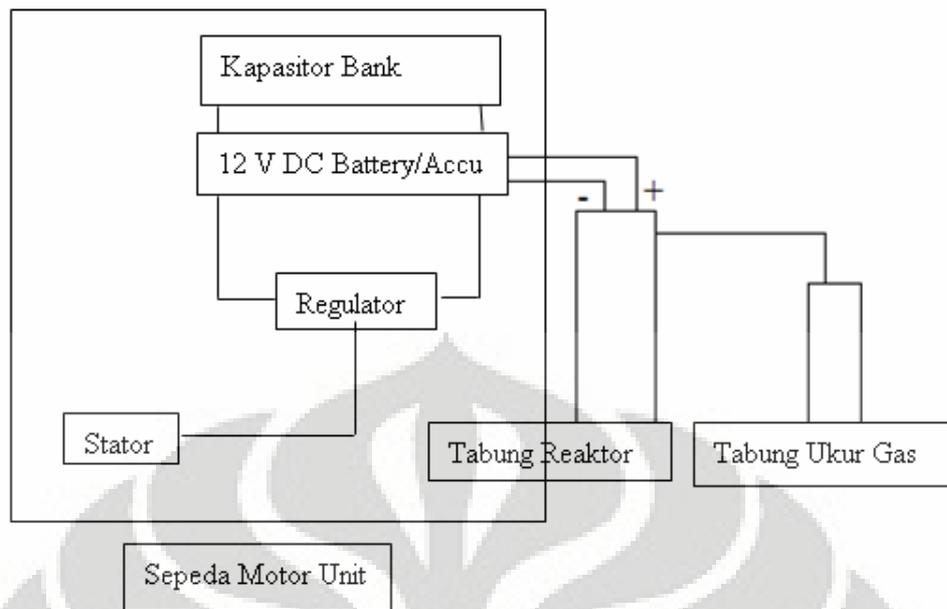
Gambar 3.10 Pilot jet ukuran standard dan ukuran yang telah diperkecil

Sebelum melakukan kategori pengujian di atas perlu dilakukan pengukuran terhadap laju gas hidrogen yang akan digunakan.

3.3.1 Pengukuran Laju Gas Hidrogen

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 3.11 Skema pengukuran volume gas hasil elektrolisa.

Prosedur Pengukuran Laju Produksi Gas Hidrogen

1. Pasang seluruh alat-alat pengukuran sesuai skematik gambar 3.10
2. Isi baskom dengan air hingga lubang tabung ukur terendam dan isi juga tabung ukur dengan air hingga penuh.
3. Menyalakan sumber tegangan DC (battery/accu) selama 5 menit dengan menyalakan sepeda motor.
4. Menghubungkan tabung reaktor dengan sumber tegangan (battery/accu). Pada battery ini dihubungkan dengan kapasitor bank yang bertujuan untuk menyimpan tegangan. Agar pada saat battery digunakan untuk elektrolisa air tidak cepat habis karena masih diisi oleh kapasitor. Kapasitor dirangkai secara paralel oleh battery dimana kutub positif bertemu dengan positif sedangkan negatif bertemu dengan negatif.
5. Mengukur seberapa banyak gas elektrolisa air yang memasuki tabung ukur dengan melihat seberapa banyak penurunan air dari kolom tabung.
6. Setiap penurunan satu sentimeter air, sesuai dengan perhitungan matematis, maka gas yang masuk sebanyak $30,19 \text{ cm}^3$.
7. pengukuran diulang sebanyak sepuluh kali dan dihitung rata-ratanya.

3.4 PROSEDUR PENGUJIAN DAN PENGAMBILAN DATA

Metode pengujian dilakukan kedalam 3 kategori :

1. Pengujian konsumsi bahan bakar dengan melakukan uji jalan kendaraan
2. Pengujian emisi kendaraan hasil pembakaran
3. Pengujian daya dan torsi kendaraan

Prosedur Pengujian Konsumsi Bahan Bakar dengan melakukan uji jalan kendaraan

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan berdasarkan prosedur sesuai standar yang ada. Prosedur pengambilan data ini merujuk dari SNI 06-3763-1995 mengenai Cara Uji Konsumsi Bahan Bakar untuk Sepeda Motor.

1. Ruang Lingkup

Standar ini meliputi kondisi uji, alat uji dan cara uji konsumsi bahan bakar untuk sepeda motor.

2. Kondisi Pengujian

- 2.1. Berat Pengendara $55 \text{ kg} \pm 5 \text{ kg}$
- 2.2. Kecepatan angin $< 3 \text{ meter/sekon}$
- 2.3. Kondisi sepeda motor harus sesuai spesifikasi pabrik dan sebelum dilakukan pengukuran, sepeda motor harus sudah beroperasi pada suhu normalnya.
- 2.4 Tempat pengujian mempunyai lintasan jalan lurus, rata, datar dan dikeraskan.

3. Alat Uji

- 3.1. Perlengkapan pengukuran konsumsi bahan bakar
- 3.2. Alat pencatat waktu otomatis/manual dengan ketelitian minimal $1/100$ sekon.
- 3.3. Alat pengukur jarak.

4. Cara Uji

4.1. Posisi gigi transmisi harus pada posisi gigi tertinggi, kecuali dalam keadaan putaran mesin tidak stabil, maka dapat digunakan gigi yang lebih rendah.

4.2. Jarak lintasannya yang ditempuh 300 m sampai 500 m.

4.3. Pengujian dapat dilakukan mulai dari kecepatan konstan 20 km/jam dengan penambahan kecepatan 10 km/jam (toleransi + 5 km%)

4.4. Konsumsi bahan bakar dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$F = s / Q \quad ; \quad F1 = (s / Q) \times ((M + 1) / M)$$

F = konsumsi rata-rata bahan bakar (dalam kondisi bahan bakar tidak tercampur oli), (km/liter)

S = jarak yang ditempuh, (m)

Q = konsumsi bahan bakar, (ml)

F1 = konsumsi rata-rata bahan bakar (dalam kondisi bahan bakar sudah tercampur oli), (km/liter)

M = perbandingan berat bahan bakar /oli.

Pengambilan data dilakukan di wilayah halim perdana kusuma dengan jarak tempuh 2,4 km. Pengujian dilakukan dalam 3 tahap kecepatan yang konstan yaitu 20 km/jam, 40 km/jam, 60 km/jam. Tiap kecepatan dilakukan sebanyak 3 kali pengujian dan masing-masing pengujian dilakukan pencatatan terhadap konsumsi bahan bakar.

Pengujian pada tiap kecepatan dilakukan dalam beberapa tahap :

- a. Menguji kendaraan dalam kondisi standar
- b. Menguji kendaraan dalam kondisi standar dengan menggunakan gas hidrogen
- c. Menguji kendaraan dengan mengecilkan pilot jet tanpa menggunakan gas hidrogen

- d. Menguji kendaraan dengan mengecilkan pilot jet dengan menggunakan gas hidrogen

3.4.2 Prosedur Pengujian Emisi Kendaraan Hasil Pembakaran

Pengujian Emisi kendaraan ini dilakukan dengan menggunakan alat yang telah disebutkan di atas yaitu gas analyzer technotest.

Prosedur Menghidupkan *Gas Analyzer*

1. Menghubungkan kabel utama *Gas Analyzer* ke sumber listrik.
2. Menekan tombol '**ON/OFF**' di bagian belakang untuk menyalakan *gas analyzer*.
3. Setelah alat menyala, pada display kiri atas muncul kode '**01**' yang berarti proses pemanasan alat yang berlangsung maksimal 15 menit.
4. Selanjutnya, pada display akan muncul kode '**21**' yang berarti sedang berlangsung proses kalibrasi otomatis selama \pm 2 menit.
5. Setelah proses kalibrasi selesai, alat akan mengukur kandungan O₂ di udara bebas (sekitar 21 % vol), kemudian menekan tombol '**pump**' untuk menampilkan kode '**03**' yang berarti *gas analyzer* berada dalam kondisi *stand by* dan siap untuk digunakan.

Prosedur Pengoperasian *Gas Analyzer*

1. Memasang kabel pengukur kecepatan putaran mesin pada kabel busi dengan memperhatikan arah tanda panah.
2. Memasukkan *probe* ke dalam knalpot lalu menekan tombol '**pump**' dan alat segera akan melakukan pengukuran.
3. Menunggu hingga seluruh komponen gas buang sudah tampil dan menunjukkan nilai yang stabil, lalu menekan tombol '**print**' untuk mencetak hasil pengukuran.
4. Mengeluarkan *probe* dari knalpot.
5. Menekan tombol '**pump**' setelah proses mencetak selesai agar alat kembali kepada posisi *stand by*.
6. Hal-hal yang perlu diperhatikan:

- Bila pada alat muncul kode '71' (*vacuum too low*) atau '72' (*vacuum too high*) berarti aliran gas dari knalpot yang masuk ke dalam alat mengalami penyumbatan yang kemungkinan disebabkan selang terjepit, tertekuk, atau terjadi kebocoran. Hal ini dapat diatasi dengan memeriksa kondisi alat dan menyemprotkan aliran udara kompresor pada selang dan probe.
- Kode '81' (*voltage too high*) dan kode '82' (*voltage too low*) akan muncul bila tegangan listrik terlalu tinggi / rendah.
- Kode '92' (*span O₂ factor*) akan muncul bila sensor oksigen terlepas atau masa pakai sudah habis dan perlu diganti (1-2 tahun).
- Kode '00' akan muncul jika alat perlu diset ulang dengan mematikan alat selama 10 detik lalu dihidupkan kembali.
- Kode '61' berarti alat sedang melakukan tes kebocoran. Apabila setelah itu muncul kode '65', maka alat mengalami kebocoran.

Prosedur Mematikan *Gas Analyzer*

1. Memastikan alat berada pada kondisi *stand by* (pada *display* muncul kode '03') dan kemudian alat dimatikan dengan menekan tombol 'ON/OFF'.
2. Melepaskan kabel utama dari sumber listrik.
3. Membersihkan embun pada selang dan filter pemisah kondensasi serta sisa karbon pada *probe* dengan menyemprotkan aliran udara kompresor agar tidak mampat saat digunakan lagi.

Proses pengambilan data dalam uji emisi ini dilakukan dalam beberapa tahap seperti yang dilakukan dalam uji konsumsi kendaraan bermotor. Yaitu :

- a. Menguji kendaraan dalam kondisi standar
- b. Menguji kendaraan dalam kondisi standar dengan menggunakan gas hidrogen
- c. Menguji kendaraan dengan mengecilkan pilot jet tanpa menggunakan gas hidrogen
- d. Menguji kendaraan dengan mengecilkan pilot jet dengan menggunakan gas hidrogen

Tiap-tiap tahap pengujian dilakukan 4 kali pengujian yaitu pada RPM 3000, 4000, 5000, 6000, 7000 dan 8000 dan tiap-tiap RPM dilakukan 3 kali pengujian untuk mengetahui kadar emisi gas buang CO, CO₂, HC, dan O₂ dengan hasil yang lebih akurat.

Prosedur Pengujian Daya dan Torsi Kendaraan

Pengujian ini menggunakan alat Dynmometer Dyno Dynamics. Seluruh pengambilan data dilakukan diatas mesin *dyno test* dimana terlebih dahulu kita harus memposisikan sepeda motor tepat diatas bantalan *roller* yang telah ditentukan. Pengambilan data ini dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu :

- a. Menguji kendaraan dalam kondisi standar
- b. Menguji kendaraan dalam kondisi standar dengan menggunakan gas hidrogen
- c. Menguji kendaraan dengan mengecilkan pilot jet tanpa menggunakan gas hidrogen
- d. Menguji kendaraan dengan mengecilkan pilot jet dengan menggunakan gas hidrogen

Pengujian dengan menggunakan dynometer dilakukan pada 1st gear dengan RPM 3000 sampai 7000 RPM. Dari pengujian ini dapat diketahui basar daya dan torsi kendaraan. Setiap tahap pada pengujian ini dilakukan minimal 5 kali pengetesan untuk mendapatkan data yang lebih akurat.

BAB 4 HASIL DAN ANALISA

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

4.1 PENGUKURAN LAJU PRODUKSI GAS ELEKTROLISA

Pengukuran diperlukan untuk mengetahui seberapa banyak gas elektrolisa air yang diproduksi reaktor dan dialirkan ke ruang bakar. Pengukuran dilakukan sebanyak 12 kali untuk mengambil rata-ratanya.

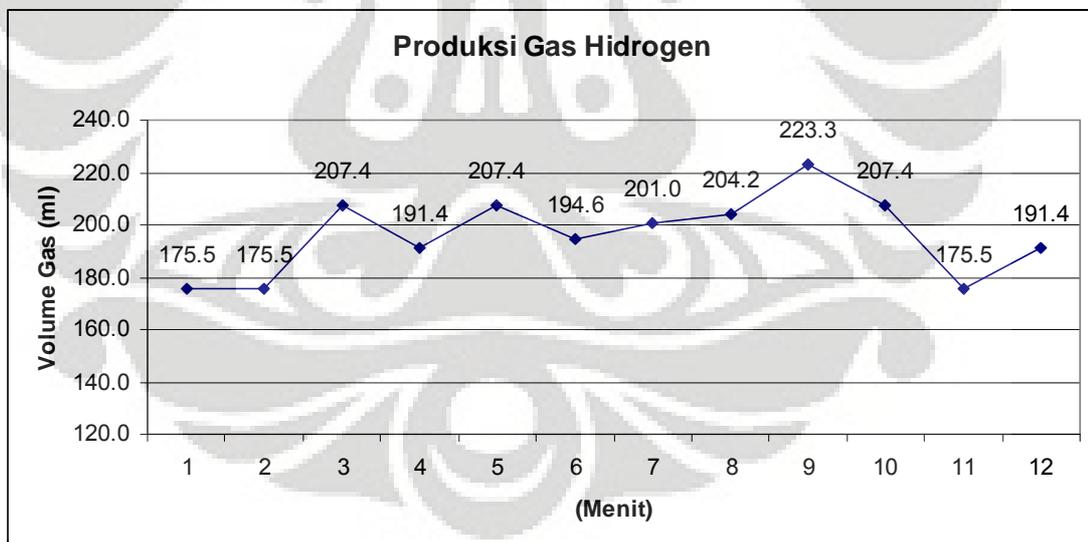
Volume reaktor = 0,5 liter air

Banyaknya KOH = 1 gram

Tegangan sumber DC = 12 Volt

Rata-rata produksi gas per menit = 196,2 ml/menit

Berikut ini adalah grafik produksi gas:



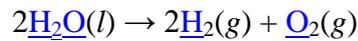
Gambar 4.1 Grafik produksi gas/menit

Dari grafik diatas, energi yang dikeluarkan dan dibentuk dari proses elektrolisa adalah sebagai berikut:

Waktu penambahan gas hasil elektrolisa yang dihitung : 1 menit

Rata-rata besarnya gas hasil elektrolisa yang dihasilkan : 196,2 ml

Reaksi kimia pembentukan gas hidrogen:



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:

$$V = 12 \text{ Volt}$$

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

$$i = 4 \text{ ampere}$$

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

$$W = 12 \times 4 \times 60 = 2880 \text{ Joule}$$

Massa gas hidrogen yang dihasilkan oleh energi listrik pada reaktor:

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

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

$$m = \frac{(1.4.60)}{96.500} = 0.002487 \text{ gram}$$

Energi pembakaran yang dihasilkan gas hidrogen per menit:

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

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

$$0,002487 \cdot 113,73 = 0.28285 \text{ BTU}$$

$$0.28285 \text{ BTU} = 298,42 \text{ Joule}$$

Perbandingan energi (efisiensi) yang diberikan dan yang didapat:

$$\eta = (W_{\text{hidrogen}} / W_{\text{listrik}}) \cdot 100$$

$$= 298,42 / 2880 \cdot 100\%$$

$$= 10,3618\%$$

Artinya, kita hanya bisa mendapatkan maksimal 10,3618 % 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.

4.3 HASIL 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. Konsumsi bahan bakar dapat dicari menggunakan rumus:

$$F = \frac{Q}{s}$$

F = Konsumsi rata-rata bahan bakar (ml/km)

s = Jarak yang ditempuh, (km)

Q = Konsumsi bahan bakar, (ml)

Contoh :

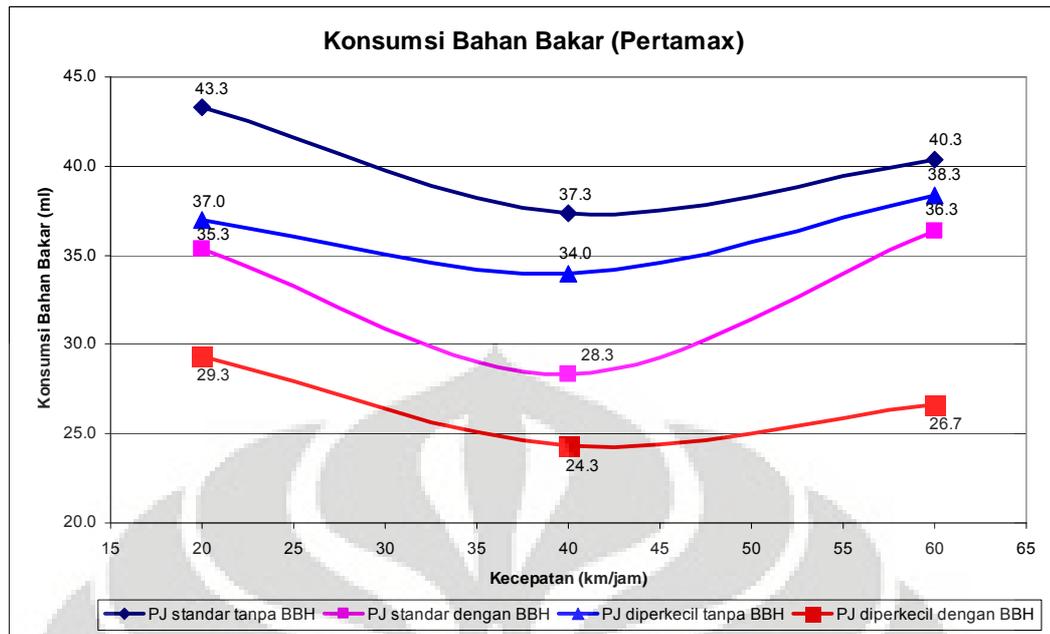
$$s = 1200 \text{ m} = 1,2 \text{ km}$$

$$Q = 18 \text{ ml} = 0,036 \text{ liter}$$

$$F = 18 / 1,2$$

$$= 15 \text{ ml/km} = 0,015 \text{ liter/km}$$

Hasil pengujian konsumsi BBM secara keseluruhan dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



Gambar 4.2 Grafik konsumsi BBM dengan berbagai kondisi.

Dari data yang terlihat pada grafik diatas, dapat dilihat bahwa dengan melakukan penambahan gas hidrogen pada kondisi pilot jet standar maupun pada kondisi pilot jet yang telah diperkecil terdapat pengurangan konsumsi BBM, hal ini dikarenakan gas hasil elektrolisa air mengambil sebagian porsi BBM untuk melakukan pembakaran, secara umum pada grafik terlihat bahwa efisiensi terbesar terjadi pada kondisi pilot jet diperkecil dengan ditambah gas hasil elektrolisa air.

Untuk mengetahui seberapa besar penghematan yang didapat maka dilakukan perhitungan sebagai berikut:

Contoh perhitungan pada kecepatan 40 km/jam dengan kondisi pilot jet standar ditambah dengan gas hasil elektrolisa:

$$f_c \text{ PJ standar} = 17,1 \text{ ml/km}$$

$$f_c \text{ PJ standar +gas} = 13,1 \text{ ml/km}$$

$$\Delta f_c = f_c \text{ PJ standar} - f_c \text{ PJ standar +gas} = 17,1 - 13,1 = 4 \text{ ml/km}$$

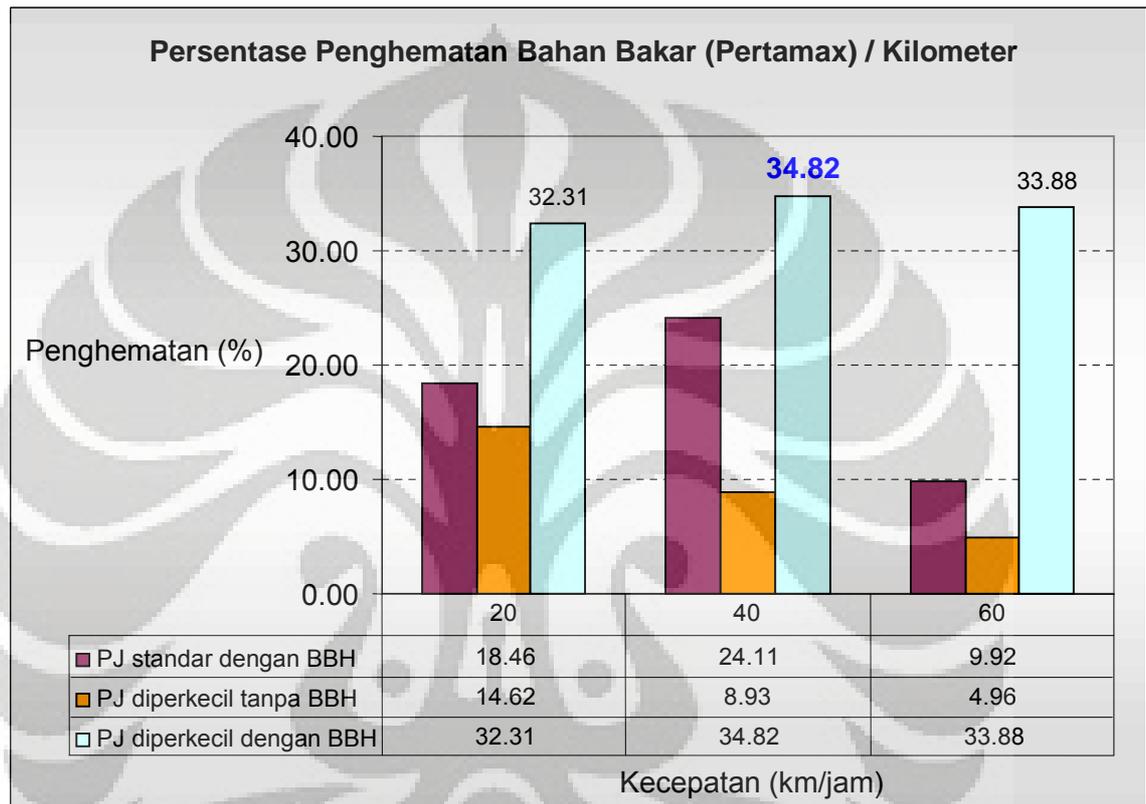
Maka persentase penghematan BBM adalah:

$$\text{Penghematan (\%)} = \left(\frac{\Delta f_c}{f_c \text{ PJ standar}} \right) \times 100$$

$$= (4 / 17,1) \times 100$$

$$= 23,577 \%$$

Besarnya persentase penghematan konsumsi BBM pada percobaan yang dilakukan dengan menambah gas hasil elektrolisa air dapat dilihat pada Gbr 4.8 berikut:



Gambar 4.3 Grafik persentase penghematan BBM.

Dengan melihat gambar 4.3, terlihat bahwa penghematan BBM yang maksimal terjadi pada kecepatan 40 km/jam dengan kondisi pilot jet diperkecil dan ditambah dengan gas hasil elektrolisa, penghematan yang terjadi adalah sebesar 34,82 %,

Pada kondisi sebenarnya pemakaian kendaraan bermotor tidaklah mungkin konstan pada suatu kecepatan tertentu saja melainkan berubah-ubah, karena itu perlu dicari efisiensi rata-rata dari berbagai kondisi pilot jet yang diujikan. Efisiensi rata-rata dapat dilihat dari tabel dibawah ini:

Kecepatan	Kondisi		
	Pilot jet standar+hidrogen	Pilot jet diperkecil	Pilot jet diperkecil +hidrogen
20	18.46	14.62	32,31
40	24.11	8.83	34.82
60	9.92	4.96	33.88
Efisiensi rata-rata (%)	17.49	9.47	33.50

Tabel 4.1 Efisiensi rata-rata.

Dari tabel dapat dilihat bahwa efisiensi tertinggi didapat pada kondisi pilot jet diperkecil ditambah dengan gas hasil elektrolisa. Efisiensi rata-rata yang didapat adalah sebesar 33,50 %

Dari data diatas maka dapat dicari besarnya energi yang hilang akibat pengecilan pilot jet yaitu:

Kecepatan (km/jam)	Kondisi	
	FC dengan pilot jet standar (ml)	FC dengan pengecilan pilot jet (ml)
20	19.7	16.5
40	17.1	13.8
60	18.2	15.7
rata-rata FC	18.333	15.324

Tabel 4.2 FC pada berbagai RPM

4.4 ANALISA EMISI GAS BUANG

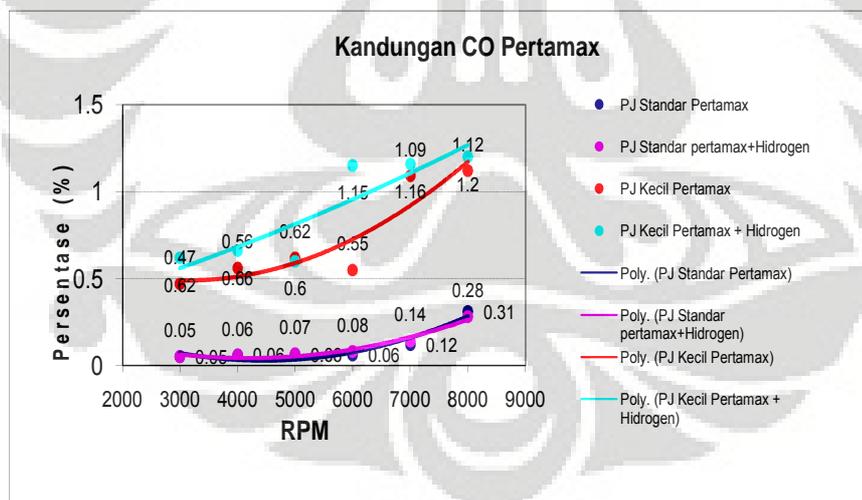
4.4.1 Kandungan CO pada gas buang

Kandungan CO pada gas buang menunjukkan pembakaran yang tidak sempurna dan meninggalkan CO yang belum sepenuhnya bereaksi dengan O₂ 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 diperkecil dengan ditambah gas hidrogen pada kecepatan 8000 rpm, dengan nilai terbesar sebanyak 1,2% volume. Sedangkan nilai terkecil diperoleh pada kondisi pilot jet standar baik tanpa maupun ditambah dengan penambahan gas hidrogen dengan nilai 0,05% volume pada 3000 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. 4.4 Kadar CO pada pengujian dengan berbagai kondisi.

4.4.2 Kandungan CO₂ pada gas buang

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

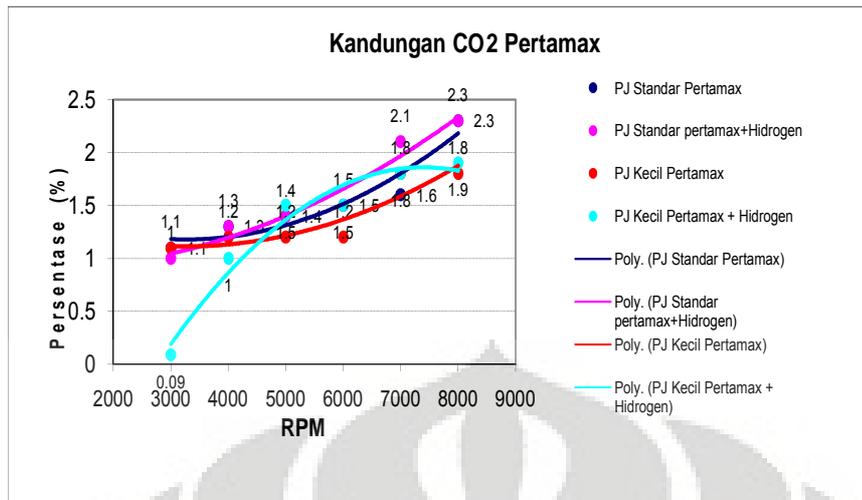
Data menunjukkan bahwa kandungan CO₂ pada gas buang semakin banyak seiring bertambahnya kecepatan putar. Hal ini disebabkan karena pada kecepatan putar mesin yang tinggi, temperatur pembakaran akan semakin tinggi dan efisiensi termal dan pembakaran akan meningkat sehingga menaikkan jumlah CO₂ sebagai 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 O₂ yang merupakan unsur penting penyebab adanya pembakaran. Hal ini dibuktikan dengan bertambahnya jumlah CO₂ pada kondisi pembakaran dengan penambahan gas elektrolisa, dibanding dengan kondisi tanpa gas elektrolisa pada ukuran pilot jet standard, maupun yang telah diperkecil.

Membaiiknya pembakaran dalam ruang bakar dikarenakan adanya gas O₂ dan H₂ yang merupakan unsur penting dalam pembakaran. O₂ merupakan oksidator dan H₂ merupakan bahan bakar. CO yang tersisa akibat pembakaran bahan bakar minyak yang tidak sempurna akan terikat oleh gas O₂ yang terkandung dalam gas elektrolisa menghasilkan CO₂. Hal ini juga membuktikan bahwa gas CO yang tersisa akibat pembakaran yang tidak sempurna, berubah menjadi CO₂.

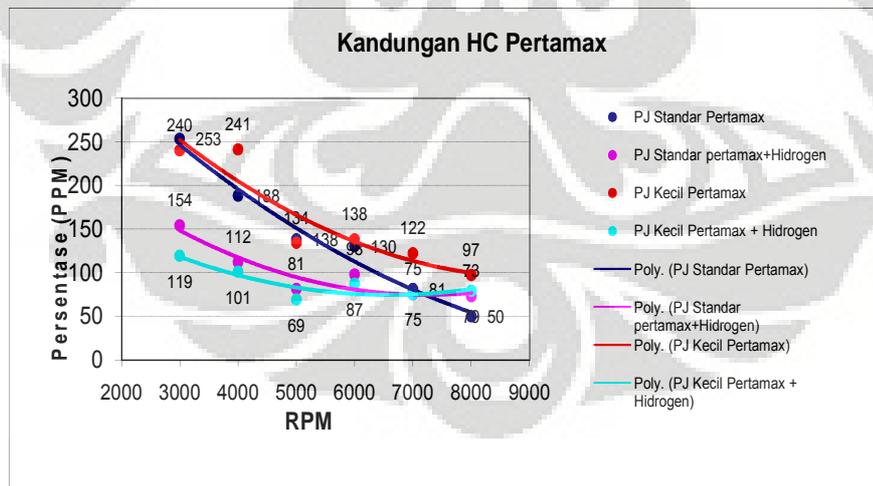
Dari data yang didapat, bisa dilihat bahwa rata-rata penambahan kadar CO₂ pada gas buang terbesar dihasilkan dengan kondisi standard baik dengan penambahan gas hidrogen maupun tanpa penambahan gas hidrogen yaitu sebesar 2,3%.



Gambar 4.5 kadar CO₂ pada pengujian dengan berbagai kondisi.

4.4.3 Kandungan HC pada gas buang

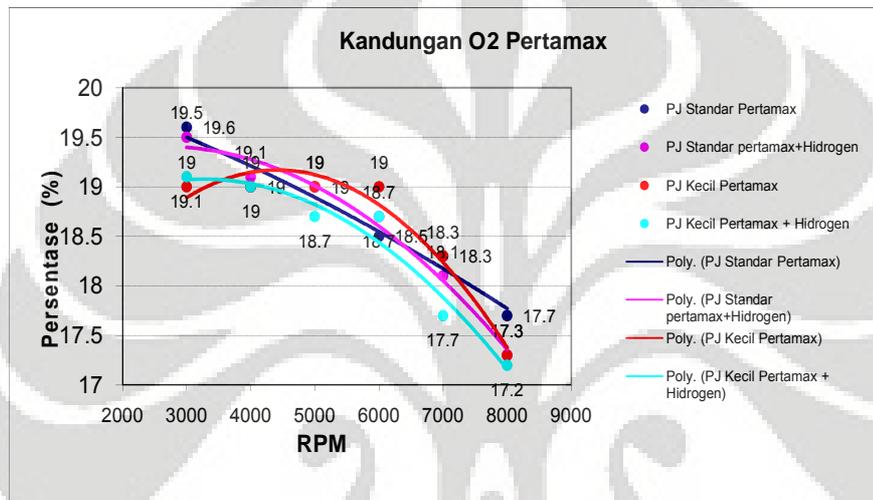
Kandungan HC pada gas buang menunjukkan banyaknya bahan bakar yang belum terbakar pada pembakaran. Semakin besar nilai HC maka semakin banyak bahan bakar yang belum terbakar, ini juga menunjukkan bahwa campuran AFR terlalu kaya.



Gambar 4.6 kadar HC pada pengujian dengan berbagai kondisi.

Dari gambar diatas dapat disimpulkan bahwa pada putaran rendah pembakaran kurang sempurna dikarenakan kurangnya panas pada ruang bakar yang mengurangi efisiensi pembakaran sehingga dibutuhkan bahan bakar yang lebih banyak. Sedangkan titik maksimal adalah pada putaran tertinggi dengan kondisi pilot jet standar tanpa bahan bakar hidrogen. Hal ini membuktikan bahwa campuran antara bahan bakar dan udara yang ideal pada kondisi standar.

4.4.4 Kandungan O2 pada gas buang



Gambar 4.7 Kadar O2 pada pengujian dengan gas elektrolisa air.

Dari grafik kadar O2 terbaik didapat pada kondisi pilot jet ukuran standar dengan penambahan gas hasil elektrolisa. Kadar O2 semakin mengecil dengan diberi gas hasil elektrolisa.

Secara umum, kadar emisi gas buang yang dihasilkan dari motor bakar berada pada kondisi paling baik pada kondisi pilot jet standar tanpa penambahan gas hasil elektrolisa. , dengan menambahkan gas hasil elektrolisa nilai kadar CO dan HC semakin turun dengan bertambahnya putaran mesin. Sedangkan nilai CO2 semakin besar. Ini menunjukkan bahwa pada motor bakar ini, semakin tinggi putaran motor yang diberlakukan maka semakin baik proses pembakaran yang terjadi pada ruang bakar.

Bila dibandingkan dengan emisi gas buang pada ketiga kondisi lainnya, nilai gas buang pada pengujian dengan menambahkan gas hasil elektrolisa air nilai CO dan HC menjadi lebih rendah sedangkan CO₂-nya meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa emisi gas buang yang dihasilkan oleh motor bakar dengan penambahan gas elektrolisa air pada kondisi pilot jet standar, menjadi lebih baik.

Begitu pula dengan gas HC yang dihasilkan, *trendline* grafiknya tidak jauh berbeda dengan gas CO. Dimana kadar gas HC yang dihasilkan oleh motor bakar pada kondisi pilot jet standar dengan penambahan gas elektrolisa air lebih rendah dari pada kondisi standar sehingga dapat dibilang gas HC yang dihasilkan lebih baik.

Kadar gas CO₂ pada motor bakar dengan maupun tanpa gas elektrolisa air cenderung meningkat dengan meningkatnya beban dan putaran motor. Namun pada motor bakar pada kondisi pilot jet standar dengan gas elektrolisa air, kadar gas CO₂ yang dihasilkan lebih tinggi dari motor bakar jika dibandingkan dengan ketiga kondisi lainnya.

Kadar O₂ menandakan bahwa tingkat penggunaan udara (oksigen) dalam proses pembakaran, semakin rendah kadar O₂ semakin banyak udara yang dipergunakan untuk proses pembakaran yang berarti pembakaran yang terjadi semakin baik, namun sebaliknya jika kadar O₂ tinggi maka banyak udara masuk yang tidak dipergunakan pada proses pembakaran yang berarti reaksi pembakaran kurang sempurna dan akan menghasilkan CO (karbon monoksida) pada gas buang, yang seharusnya menjadi CO₂.

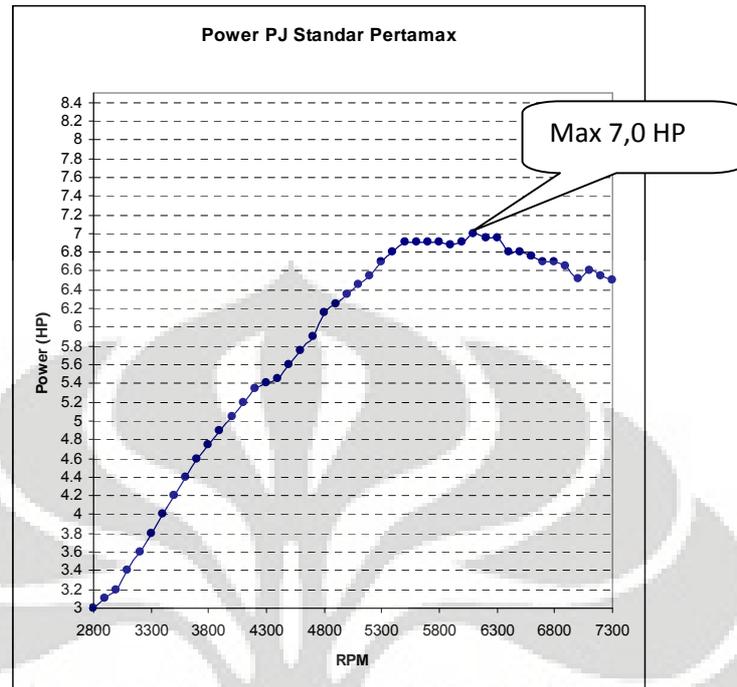
4.5 BRAKE HORSE POWER DAN TORSI

Brake Horse Power merupakan out put dari sebuah pengujian dimana merupakan hasil pengalihan antara torsi dengan rpm dibagi dengan lengan momen.

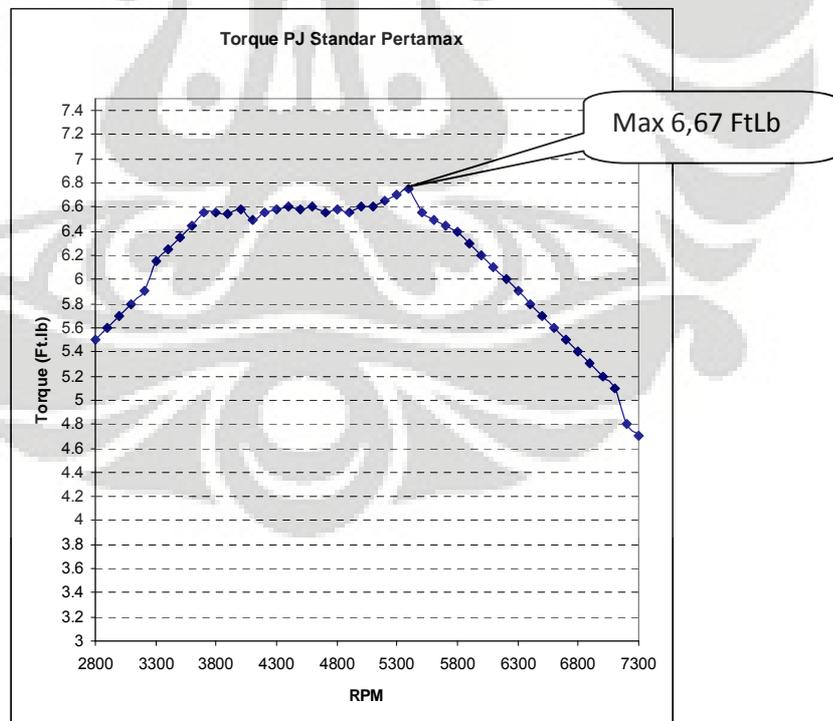
$$\text{BHP} = (\text{Torsi} \times \text{rpm}) / \text{lengan momen}$$

Torsi → Ft Lb

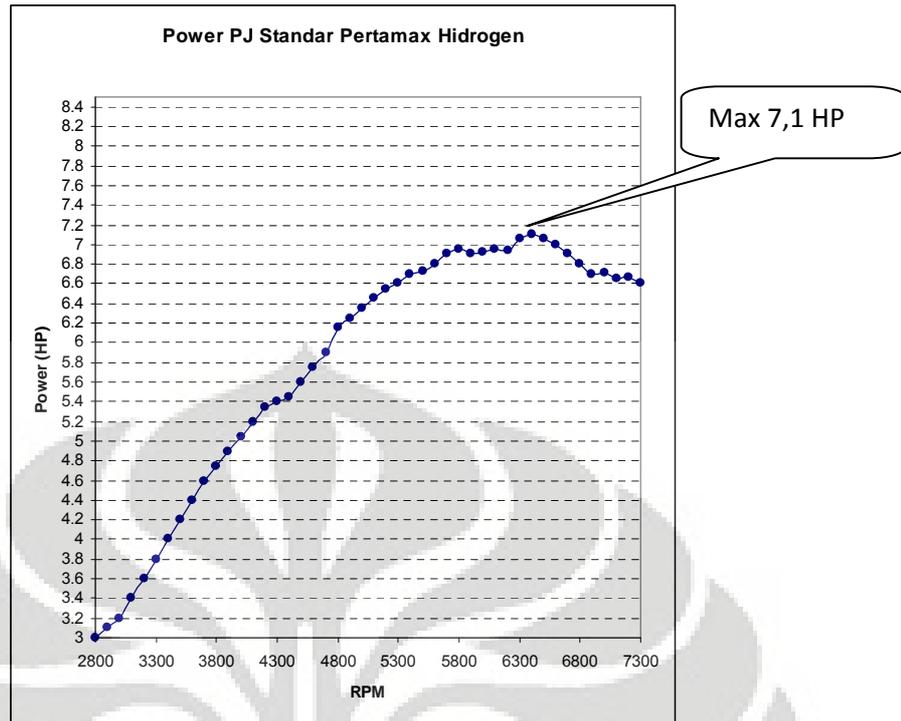
Berikut grafik Power dan Torsi:



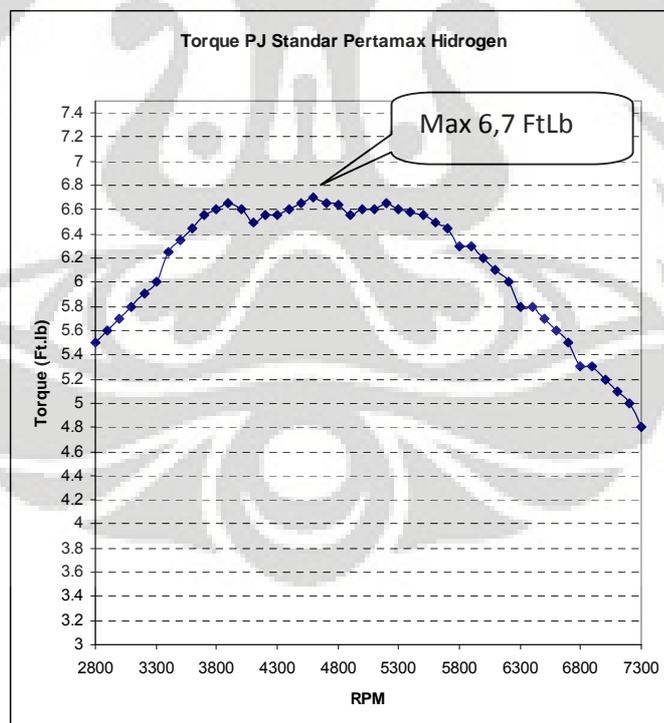
Gambar 4.8 Grafik BHP dalam kondisi standar



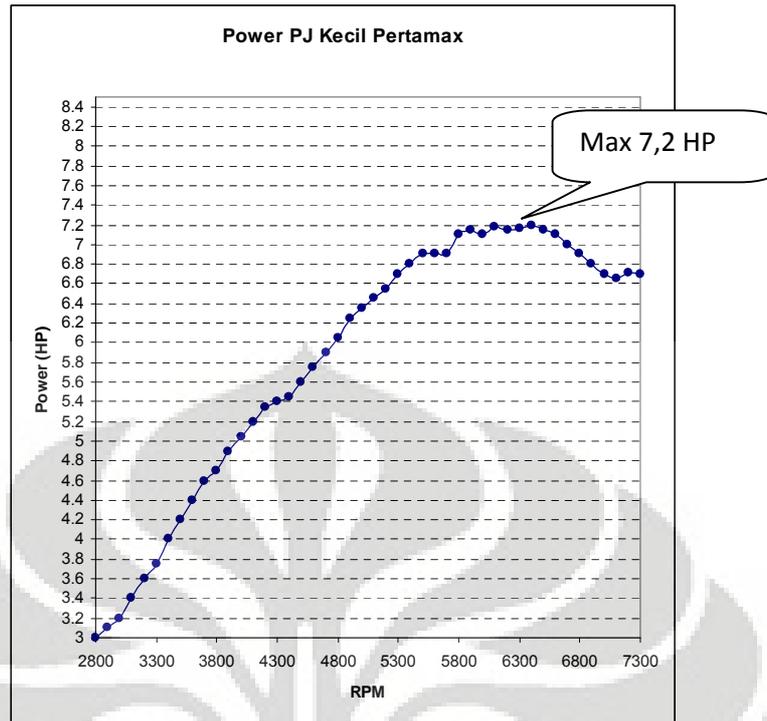
Gambar 4.9 Grafik Torsi dalam keadaan standar



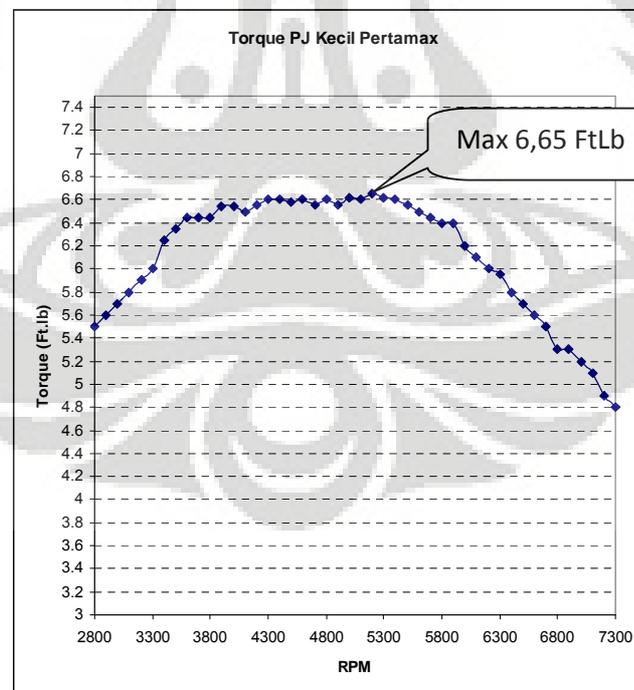
Gambar 4.10 Grafik BHP dalam keadaan standar ditambah dengan gas hidrogen



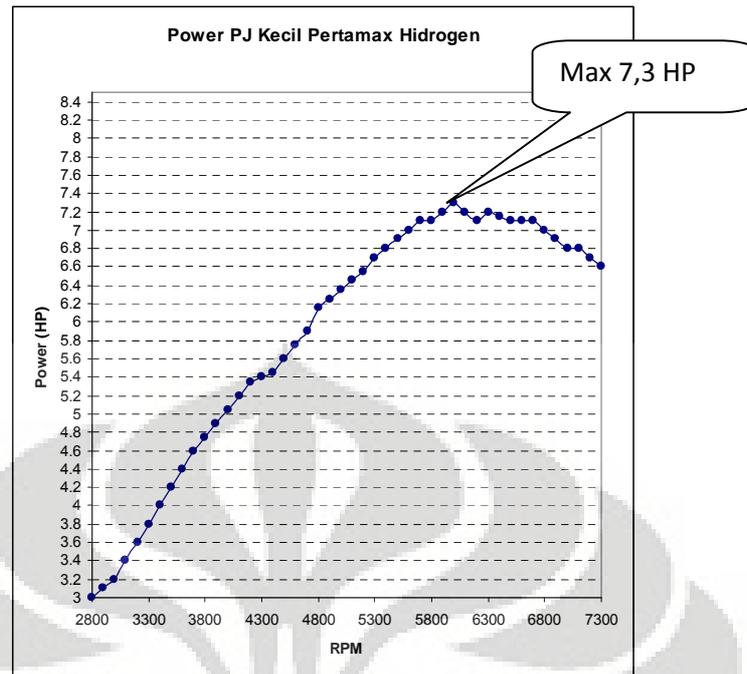
Gambar 4.11 Grafik Torsi dalam keadaan torsi ditambah dengan gas hidrogen



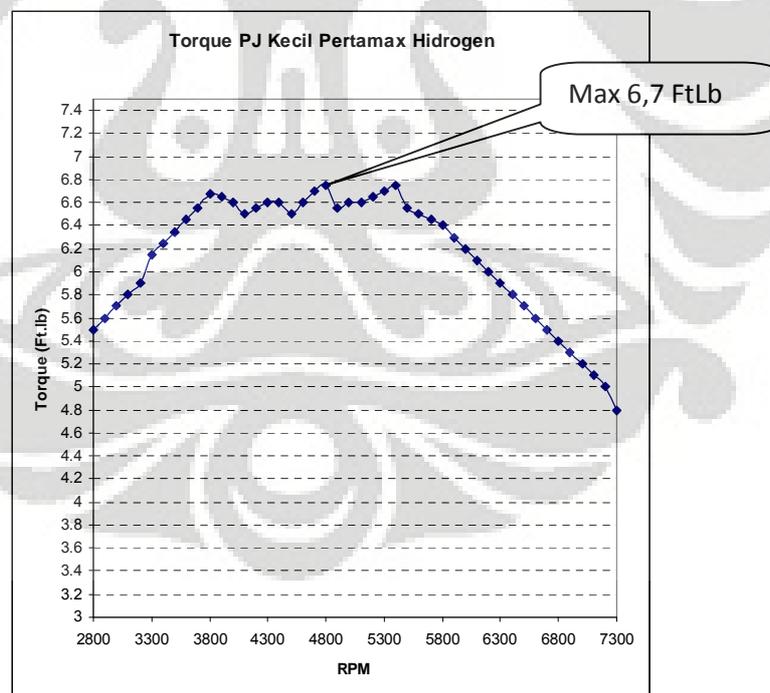
Gambar 4.12 Grafik BHP dalam kondisi pilot jet diperkecil tanpa ditambah gas hidrogen



Gambar 4.13 Grafik Torsi dalam kondisi pilot jet diperkecil tanpa ditambah gas hidrogen



Gambar 4.14 Grafik BHP dalam kondisi pilot jet diperkecil ditambah gas hidrogen



Gambar 4.15 Grafik BHP dalam kondisi pilot jet diperkecil ditambah gas hidrogen

Dari grafik BHP dan Torsi diatas dapat diambil kesimpulan bahwa penggunaan gas hidrogen dapat meningkatkan BHP kendaraan dimana BHP terbesar yaitu 7,3 HP pada kondisi pilot jet diperkecil dengan penambahan gas hidrogen. Lebih besar bila dibandingkan dengan kondisi standar tanpa penambahan gas hidrogen yang hanya sebesar 7.0 HP.

4.6 EFISIENSI BIAYA

Jika efisiensi dilihat dari segi biaya yang digunakan dalam membuat suatu reaktor untuk proses elektrolisa dengan produksi gas hasil elektrolisa yang nantinya akan dikonversikan berdasarkan harga bahan bakar pertamax saat ini dapat dilihat dari perhitungan berikut ini.

Item	Kebutuhan	Satuan	Harga/satuan		Total
Kabel 1 mm	3	Meter	Rp	1,000	Rp 3,000
Penjepit	6	Pcs	Rp	1,500	Rp 9,000
Tabung Reaktor	1	Pcs	Rp	30,000	Rp 30,000
Plat 1 mm	0.5	M2	Rp	45,000	Rp 22,500
Air	0.5	Liter	Rp	2,000	Rp 1,000
KOH	0.2	Kg	Rp	50,000	Rp 10,000
Baut M8	2	Pcs	Rp	400	Rp 800
Nut M8	8	Pcs	Rp	150	Rp 1,200
Ring 8	6	Pcs	Rp	100	Rp 600
Aluminium siku 12mm	6	Meter	Rp	11,000	Rp 66,000
Ripet	24	Pcs	Rp	500	Rp 12,000
Plat 2x20mm	0.8	Meter	Rp	6,000	Rp 4,800
Biaya pengerjaan (listrik, bor, gerinda, ripet, dll)	1	Unit	Rp	100,000	Rp 100,000
Biaya perawatan dll.	1	Tahun	Rp	50,000	Rp 50,000
			Total		Rp 310,900

Tabel 4.3 Biaya Pembuatan dan Instalasi Reaktor

Item	Kondisi Normal	Kondisi Pilot Jet Diperkecil + Hidogen
Jarak tempuh per hari (km)	40	40
Kebutuhan tiap km jarak (ml)	15.6	10.374
Kebutuhan pertamax (ml)	624	414.96
Kebutuhan pertamax (liter)	0.624	0.41496
Harga pertamax	Rp 6,200	Rp 6,200
Cost untuk pengadaan bahan bakar	Rp 3,869	Rp 2,573
Penghematan/hari		Rp 1,296

Tabel 4.4 Efisiensi Biaya Produksi Gas dengan Konsumsi Bahan Bakar

Jumlah total untuk pembuatan satu set tabung reaktor beserta sistem penyaluran gasnya sebesar Rp. 310.900,00. jika kita lihat misalkan dalam 1 hari kita menempuh jarak 40 km, maka jika dalam keadaan standar kita membutuhkan konsumsi bahan bakar sebanyak 0,624 liter, maka berdasarkan dari efisiensi terbesar yang telah didapat yaitu sebesar 33,50 % (pada kondisi pilot jet diperkecil dengan gas hidrogen) dari kondisi standar maka didapatkan kita hanya membutuhkan bahan bakar sebanyak 0,41496 ml.

Jadi bahan bakar yang kita butuhkan dalam menempuh jarak 40 km sebesar 0,41496 liter. Jika kita konversikan kedalam satuan harga bahan bakar pertamax maka penghematan yang didapat sebesar :

$$0,624 \text{ liter} \times \text{Rp } 6200 = \text{Rp } 3869$$

$$0,41496 \text{ liter} \times \text{Rp } 6200 = \text{Rp } 2573$$

$$\text{Rp } 3869 - \text{Rp } 2573 = \text{Rp } 1296$$

Maka untuk menutupi biaya pembuatan satu set reaktor dapat kita tutupi dalam $310900/1296 = 240$ hari.

Kesimpulan dari hasil perhitungan efisiensi biaya yang telah dicontohkan diatas maka pembuatan satu set tabung reaktor dapat menguntungkan pengguna setelah digunakan selama 8 bulan. Namun kelemahan reaktor diatas adalah hanya mampu bertahan selama 40 menit. Karena sumber listrik dari battery/accu akan menjadi lemah jika digunakan lebih dari 40 menit, oleh karena itu accu harus di charge kembali. Jadi penggunaan reaktor ini berseling untuk menghindari terjadinya kerusakan, 1 hari digunakan 1 hari di charge kembali, jadi penggunaan reaktor tersebut dapat menguntungkan setelah digunakan selama 16 bulan. Contoh diatas diasumsikan menggunakan sepeda motor kurang dari 40 menit.

BAB 5

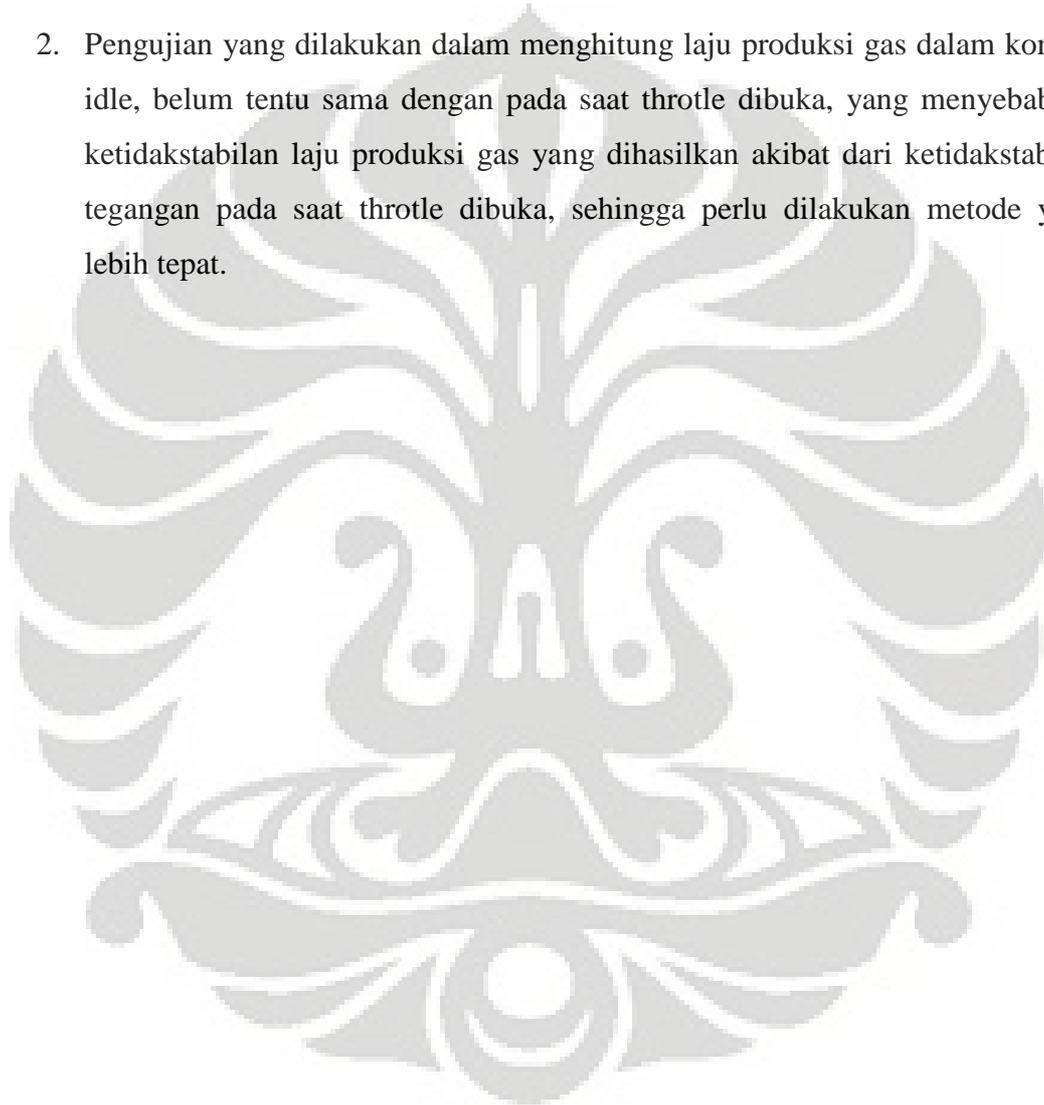
KESIMPULAN DAN SARAN

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. Rata-rata laju gas hidrogen yang dihasilkan dengan menggunakan katalis KOH 1 gram dan air 0,5 liter serta tegangan 12 V DC adalah 196,2 ml/menit.
3. Penghematan terbesar dalam uji konsumsi bahan bakar dengan menggunakan bahan bakar pertamax melalui tes jalan kendaraan dengan menggunakan acuan standar SNI yaitu pada kondisi pilot jet diperkecil dengan penambahan gas hidrogen.
4. Efisiensi penghematan terbesar terjadi pada kecepatan 60 km/jam dengan kondisi pilot jet diperkecil
5. Semakin besar laju produksi gas elektrolisa air, semakin besar penghematan BBM yang dapat diperoleh.
6. Pengaruh penambahan gas hasil elektrolisa air yaitu gas hidrogen cukup berpengaruh terhadap emisi gas buang yang dihasilkan dimana kadar CO, HC, dan O₂ menurun sedangkan kadar CO₂ meningkat hal ini menjelaskan bahwa pembakaran yang terjadi pada ruang pembakaran motor bakar semakin baik.
7. Hasil penambahan gas hidrogen dapat meningkatkan prestasi mesin kendaraan yaitu dapat dilihat dari BHP yang dicapai sebesar 7,3 HP dengan menggunakan pilot jet diperkecil dan ditambah dengan gas hidrogen dibandingkan dengan pilot jet standard tanpa gas hidrogen yang hanya sebesar 7 HP.

5.2 SARAN

1. Dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai tabung reaktor untuk elektrolisa air khusus digunakan untuk sepeda motor, dimana tidak terjadi pemborosan energi listrik. Energi yang digunakan sangat besar tidak sebanding dengan laju gas yang dihasilkan sehingga menyebabkan sumber listrik pada sepeda motor mengalami kerusakan.
2. Pengujian yang dilakukan dalam menghitung laju produksi gas dalam kondisi idle, belum tentu sama dengan pada saat throttle dibuka, yang menyebabkan ketidakstabilan laju produksi gas yang dihasilkan akibat dari ketidakstabilan tegangan pada saat throttle dibuka, sehingga perlu dilakukan metode yang lebih tepat.



DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- Wirekso, Alva Kurnia L. *Pengaruh Penambahan Gas Elektrolisa Air terhadap Konsumsi Pertamina Pada Motor Bakar 4 Langkah dengan Pengecilan Pilot Jet*. Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2008/2009

LAMPIRAN

Lampiran 1.

Data laju produksi gas hasil elektrolisa air per menit

Menit	Volume Gas (ml)
1	175.5
2	175.5
3	207.4
4	191.4
5	207.4
6	194.6
7	201.0
8	204.2
9	223.3
10	207.4
11	175.5
12	191.4
Rata-Rata	196.2

Lampiran 2.

Data Pengujian Konsumsi Bahan Bakar Pertamax

Hasil Pengujian Konsumsi Bahan Bakar Pertamax					
No	kecepatan	Kondisi Pengujian			
		standar (ml)	Standar + Bahan Bakar Hidrogen (ml)	Pilot Jet Diperkecil (ml)	Pilot jet Diperkecil + Hidrogen (ml)
1	20 km/jam	42	34	34	28
		45	36	40	32
		43	36	37	28
		43.3	35.3	37.0	29.3
2	40 km/jam	37	30	37	24
		37	26	35	23
		38	29	30	26
		37.3	28.3	34.0	24.3
3	60 km/jam	40	38	39	27
		41	34	38	25
		40	37	38	28
		40.3	36.3	38.3	26.7

Lampiran 3.

Kadar emisi gas buang pada kondisi standar

RPM	CO	CO2	HC	O2	NOX
3000	0.05	1.1	253	19.6	4
4000	0.06	1.3	188	19	4
5000	0.06	1.4	138	19	4
6000	0.06	1.5	130	18.5	4
7000	0.12	1.6	81	18.3	4
8000	0.31	2.3	50	17.7	9

Lampiran 4.

Kadar emisi gas buang pada kondisi standar dengan penambahan gas hidrogen

RPM	CO	CO2	HC	O2	NOX
3000	0.05	1	154	19.5	0
4000	0.06	1.3	112	19.1	0
5000	0.07	1.4	81	19	0
6000	0.08	1.5	98	18.7	4
7000	0.14	2.1	75	18.1	9
8000	0.28	2.3	73	17.3	9

Lampiran 5.

Kadar emisi gas buang pada kondisi pilot jet diperkecil tanpa penambahan gas hidrogen

RPM	CO	CO2	HC	O2	NOX
3000	0.77	1.1	204	19	4
4000	0.56	1.2	134	19	4
5000	0.62	1.4	241	19.1	9
6000	0.55	1.2	138	19	9
7000	1.09	1.8	97	18.3	9
8000	1.02	1.8	122	17.3	9

Lampiran 6.

Kadar emisi gas buang pada kondisi pilot jet diperkecil dengan penambahan gas hidrogen

RPM	CO	CO2	HC	O2	NOX
3000	0.72	0.09	119	19.1	4
4000	0.66	1	101	19	4
5000	0.6	1.5	69	18.3	4
6000	1.25	1.5	87	18.7	4
7000	1.06	1.8	75	17.7	9
8000	1.2	1.9	79	17.2	9

