



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PENAMBAHAN GAS ELEKTROLISA
AIR TERHADAP KONSUMSI PREMIUM PADA
MOTOR BAKAR 4 LANGKAH DENGAN
PENGECILAN PILOT JET DARI UKURAN 35 KE
UKURAN 30**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia**

BHASKARA AJI PAWITRA

NPM : 0405020197

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Bhaskara Aji Pawitra

NPM : 0405020197

Tanda Tangan :

Tanggal :

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Bhaskara Aji Pawitra
NPM : 0405020197
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : **PENGARUH PENAMBAHAN GAS
ELEKTROLISA AIR TERHADAP KONSUMSI
PREMIUM PADA MOTOR BAKAR 4
LANGKAH DENGAN PENGECILAN PILOT
JET DARI UKURAN 35 KE UKURAN 30**

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof.DR.Ir Bambang S. M.Eng (.....)

Penguji : Ir. Yulianto S Nugroho MSc. PhD. (.....)

Penguji : Dr. Ir. Danardono AS. DEA. (.....)

Penguji : Dr. Ir. Adi Suryo Satyo M.Eng (.....)

Ditetapkan di :

Tanggal :

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, 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 Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Prof.DR.Ir Bambang S. M Eng, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
- (2) Bapak, Ibu dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral
- (3) Pihak Laboratorium Teknik Mesin yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan,dan
- (4) Sahabat saya Alva, Bagus dan teman-teman angkatan 2005 dari berbagai departemen yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Juli 2009

Penulis



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

Nama : Bhaskara Aji Pawitra

NPM : 0405020197

Program Studi : Teknik Mesin

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :**PENGARUH PENAMBAHAN GAS ELEKTROLISA AIR TERHADAP KONSUMSI PREMIUM PADA MOTOR BAKAR 4 LANGKAH DENGAN PENGECILAN PILOT JET DARI UKURAN 35 KE UKURAN 30**, 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 : 17 Juni 2009
Yang menyatakan

(Bhaskara Aji Pawitra)

ABSTRAK

Nama : Bhaskara Aji Pawitra
Program studi : Teknik Mesin
Judul : Pengaruh Penambahan Gas Elektrolisa Air Terhadap Konsumsi Premium Pada Motor Bakar 4 Langkah Dengan Pengecilan Pilot Jet Dari Ukuran 35 Ke 30

Struktur molekul air melalui proses elektrolisa dapat dipecah menjadi gas O_2 dan H_2 melalui persamaan stoikiometri $2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$. Proses pembakaran gas H_2 dan O_2 adalah reaksi eksotermik yang menghasilkan kalor dan produk samping berupa air (H_2O), oleh karenanya hidrogen merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan dan dapat diperbaharui. 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.

Elektrolisa merupakan suatu teknik pemisahan air menjadi gas oksigen dan hidrogen. Dalam melakukan elektrolisa ini, air bisa dicampur dengan elektrolit sebagai katalis. Dalam makalah ini akan dihitung seberapa besar efisiensi dari proses tersebut terhadap laju pemakaian bahan bakar premium pada sepeda motor.

Berikut ini adalah alat-alat yang digunakan untuk pengambilan data; sebuah tabung reaktor dimana proses elektrolisa dilakukan yang didalamnya mengandung 8 pelat elektroda dan campuran satu liter air dengan 0,35 gram KOH sebagai katalis, tabung ukur volume gas hasil elektrolisa, motor Honda Supra X 125 cc, bahan bakar premium, tabung ukur bahan bakar, dan exhaust gas analyzer.

Tabung reaktor tersebut terdiri dari pelat-pelat yang terpisah-pisah dengan jarak yang telah ditentukan, yaitu 2 mm yang dipasang berjajar dan saling bergantian antara plat positif dan plat negatif dengan jumlah pelat total 8 buah (4 positif, 4 negatif). Tabung reaktor tersebut diisi oleh air dan elektrolit, kemudian dialirkan listrik DC pada masing masing elektroda dan dimonitor bagaimana kebutuhan energinya (arus, voltase) dan seberapa besar laju hasil gas elektroisa yang dihasilkan. Gas hasil keluaran ini kemudian dimasukkan ke ruang bakar motor bakar dengan pemasukan pada air intake sebelum karburator, kemudian laju pemakaian bahan bakar premium dimonitor dan gas buang dianalisis.

Pengujian efisiensi dilakukan dalam dua ukuran pilot jet, yaitu pilot jet ukuran standar (35) dan ukuran yang telah diperkecil (30). Pengujian dilakukan dengan membandingkan fuel consumption (FC) dan gas buang antara kondisi standar dengan dua kondisi yaitu kondisi penambahan gas elektrolisa pada kondisi standar dan dengan kondisi penambahan gas elektrolisa pada pilot jet yang telah diperkecil. Bahan bakar yang digunakan adalah bahan bakar premium. Pengujian dilakukan pada RPM 2500, 3500, 4500 dan 5500.

Dari hasil pengujian didapat efisiensi pemakaian BBM rata-rata sebesar 11,9 %

Kata kunci : Karburator, Gas Hidrogen, Sepeda Motor, Pengecilan Pilot Jet

ABSTRACT

Name : Bhaskara Aji Pawitra
Study Program : Mechanical Engineering
Title : EFFECT OF ADDITION OF ELECTROLYSIS GAS TO FUEL CONSUMPTION OF 4 STROKE INTERNAL COMBUSTION ENGINE WITH REDUCTION OF PILOT JET SIZE FROM 35 TO 30 USING PREMIUM AS FUEL.

Water molecule structure can be separated into O₂ and H₂ through electrolysis according to stoichiometric equation $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$. Combustion process involving these gases is an exothermic reaction to produce heat and water (H₂O) as by-product. That is why hydrogen is a recyclable and environmental friendly fuel. We can use these gas to reduce the needs of fossil fuel in a 4-stroke-internal-combustion-engine if we can provide sufficient gas (gas produced > gas consumption).

Electrolysis is a way to separate water molecules to produce oxygen and hydrogen. To enhance the production rate of electrolysis gas, catalyst can be added to water. This paper will explore how far fuel efficiency can be gained in the application of water electrolysis in Honda Supra X 125 cc motor cycle using premium as fuel and reduced pilot jet size from 35 to 30.

Following is the tools used for collecting data; a reactor tube containing 8 electrode plates and a mix of water with 0.35 grams of KOH as catalyst, electrolysis gas volume measuring tube, Honda Supra X 125 cc motorcycle, premium fuel, fuel measuring tube, and exhaust gas analyzer.

The reactor vessel contained 8 electrode plates (4 positive and 4 negative) arranged parallel separated as far as 2 mm from one plate to another. The vessel is filled with a mix of a litre water with KOH as electrolyte then the DC current is delivered through each electrodes then the supply power and gas produced is monitored. The produced gas is then monitored and the current, voltage and gas production rate is recorded. These gases then injected into combustion chamber through air intake before carburetor while fuel consumption and exhaust gas is monitored and analyzed.

The efficiency test is done with two different pilot jet size, which are 35 (standard size) and 30. The fuel consumption and exhaust gas of the standard condition is then compared with the modified condition; standard pilot jet size with electrolysis gas and reduced pilot jet with electrolysis gas. The fuel used is premium and the test is done in 2500, 3500, 4500 and 5500 RPM.

From the tests, best average efficiency is gained from standard pilot jet size with addition of electrolysis gas, that is 11,9% fuel saving from standard condition.

Key Words : Carburettor, Hydrogen Gas, Motor Cycle, Pilot Jet Reduction



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
---------------------	----

HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
KATA PENGANTAR	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metodologi Penulisan	3
1.5.1 Studi Literatur	3
1.5.2 Persiapan alat uji	3
1.5.3 Proses Pengambilan Data	3
1.5.4 Analisis dan Kesimpulan Hasil Pengujian.	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
2. LANDASAN TEORI	5
2.1 Motor Otto	5
2.1.1 Siklus Kerja Motor Otto	6
2.2 Karburator	10
2.3 Parameter Prestasi Mesin	11
2.4 Pembakaran dan Emisi Pada Motor Otto	13
2.4.1 Pembakaran dengan 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 (NOx)	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 Lavoisier).....	23
2.8.3 Persamaan-Persamaan Gas Ideal.....	23
2.8.3.1 Hukum Boyle	24
2.8.3.2 Hukum Gay-Lussac	24
2.8.3.3 Hukum Boyle-Gay lussac	24
2.8.3.4 Hukum Avogadro	25
2.8.4 Hukum Faraday	25
3. METODA PENELITIAN	27
3.1 Penelitian	27
3.2 Alat Uji	27
3.3 Skematik Alat Uji	33
3.4 Prosedur Pengujian	35
3.4.1 Prosedur pengujian laju gas hasil elektrolisa air	35
3.4.2 Prosedur pengujian dengan ukuran pilot jet standar tanpa gas hasil elektrolisa	31
3.4.3 Prosedur pengujian dengan ukuran pilot jet standar dengan gas hasil elektrolisa.....	37
3.4.4 Prosedur pengujian dengan ukuran pilot jet yang telah diperkecil tanpa gas hasil elektrolisa	38
3.4.5 Prosedur pengujian dengan ukuran pilot jet yang telah diperkecil dengan gas hasil elektrolisa	39
4. HASIL DAN ANALISA	40
4.1 Hasil pengujian laju produksi gas elektrolisa.....	40
4.1 Hasil pengujian konsumsi bahan bakar	42
4.3 Analisa emisi gas buang	46
5. KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	52
DAFTAR ACUAN	53
DAFTAR REFERENSI	54

DAFTAR GAMBAR

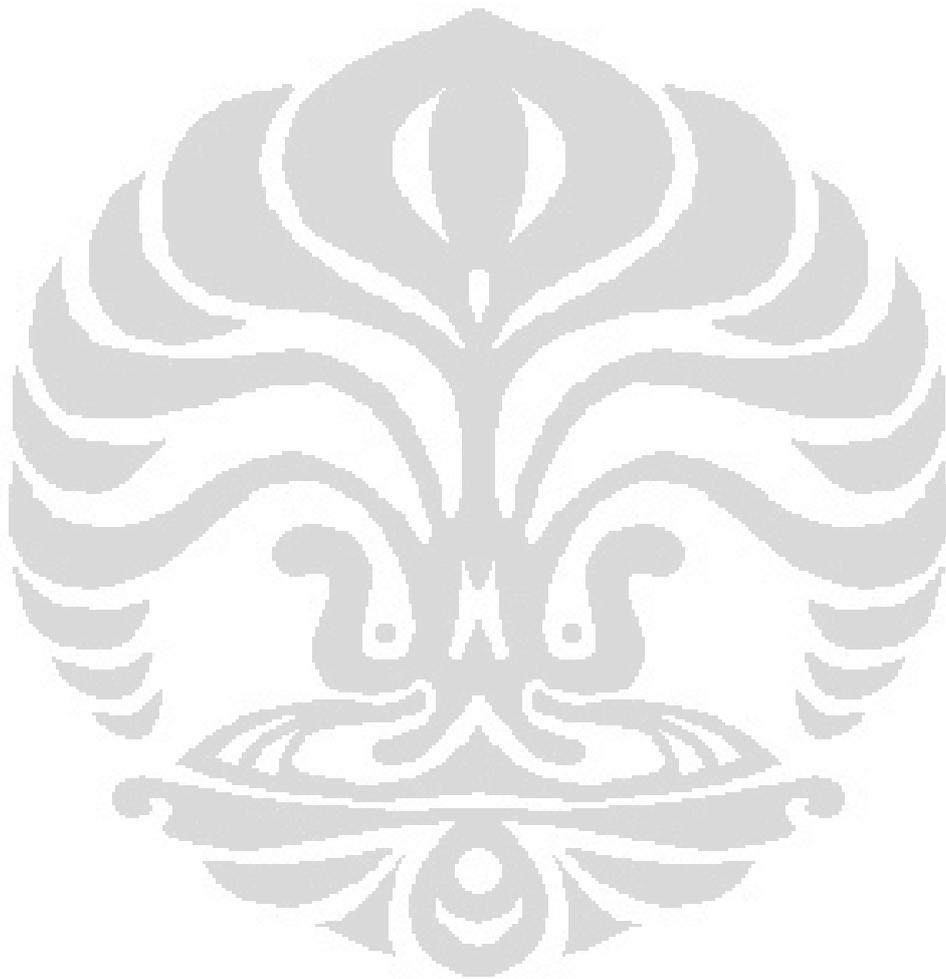
Gbr 1.1 Hanya bahan bakar hidrogen yang memenuhi ke-tiganya.....	2
Gbr 2.1 Urutan siklus kerja motor bakar 4 langkah.	7
Gbr 2.2. Diagram P-V dan T-S ideal motor Otto empat langkah	8
Gbr 2.3. Karburator Supra X 125 CC	9
Gbr 2.4. Skema sederhana karburator	11
Gbr 3.1 Sepeda motor supra X 125 CC.....	28
Gbr 3.2 Tabung reaktor elektrolisa.	29
Gbr 3.3 Tabung ukur gas hasil elektrolisa air.	30
Gbr 3.4 Technotest 488 plus gas analyzer.....	32
Gbr 3.5 Skema pengukuran gas hasil elektrolisa air.	33
Gbr 3.6 Skema alat uji tanpa gas elektrolisa air.....	34
Gbr 3.7 skema alat uji dengan gas elektrolisa air.....	34
Gbr 3.8 Posisi injeksi gas elektrolisa pada air filter.....	35
Gbr 3.9 Setup alat untuk pengukuran gas elektrolisa air.....	36
Gbr 4.1 Grafik produksi gas/menit Vs arus.....	40
Gbr 4.2 Laju konsumsi BBM dengan berbagai kondisi.	43
Gbr 4.3 Grafik presentase penghematan BBM.	44
Gbr 4.4 Kadar CO pada pengujian dengan berbagai kondisi.	46
Gbr 4.5 kadar CO ₂ pada pengujian dengan berbagai kondisi.	47

Gbr 4.6 Kadar HC pada pengujian dengan berbagai kondisi.	47
Gbr 4.7 Kadar O ₂ pada pengujian dengan berbagai kondisi.	48



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai oktan berbagai bahan bakar.....	21
Tabel 2.2 Sifat kemampuan bakar berbagai jenis bahan bakar	22
Tabel 4.1 Efisiensi rata-rata.	45
Tabel 4.2 FC pada berbagai RPM	45



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

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. Seiring dengan berlalunya waktu cadangan BBM yang terdapat di bumi semakin menipis hal ini dikarenakan BBM ini adalah bahan bakar yang tidak dapat diperbarui (*renewable energy*). Jika hal ini dibiarkan maka dalam beberapa waktu ke depan masyarakat dunia akan mengalami krisis energi.

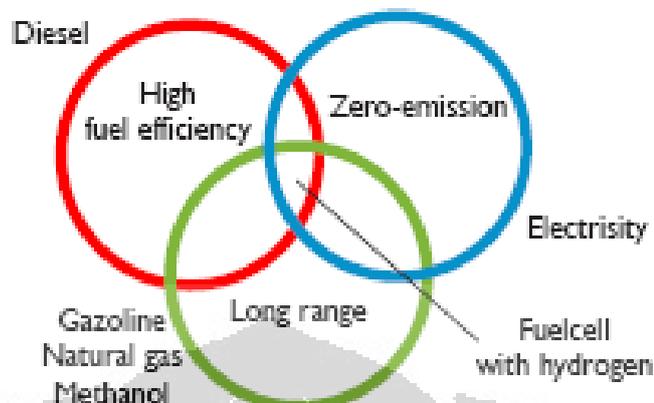
BBM juga memiliki masalah yaitu gas hasil pembakaran yang mencemari udara, hasil pembakaran tersebut menimbulkan efek rumah kaca (*green house effect*) yang menyebabkan meningkatnya suhu di permukaan bumi secara global (*global warming*), selain pemanasan global, gas hasil pembakaran BBM juga berbahaya bagi kesehatan makhluk hidup.

Tantangan yang timbul akibat ketergantungan BBM dan efeknya terhadap bumi memicu adanya pencarian energi alternatif yang terbarukan (*renewable energy*). Hingga saat ini sudah banyak energi terbarukan yang ditemukan dan penggunaannya semakin besar dimana isu lingkungan, peningkatan penggunaan energi dan harga menjadi faktor utamanya.

Salah satunya dari sekian banyak bahan bakar alternative yang baru bermunculan adalah Bahan Bakar Air (BBA). Dalam beberapa waktu kebelakang diberitakan bahwa beberapa orang telah berhasil menjadikan air sebagai bahan bakar motor, namun nampaknya belum ada satu bahasan akademis pun yang berusaha memaparkan fakta-fakta otentik dan terbukti secara ilmu pengetahuan dibalik penemuan BBA, sehingga tentunya hal tersebut menuai kontroversi. Hal tersebut memicu penulis untuk melakukan penelitian dalam membuktikan hal tersebut.

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 energy seperti pada PLTA dsb. Penggunaan BBA yang dilakukan dalam penelitian ini memanfaatkan ikatan molekul air itu sendiri (H₂O) yang nantinya akan dijadikan sebagai bahan bakar hidrogen dengan melalui proses elektrolisa dan digunakan untuk mengurangi porsi pemakaian bahan bakar minyak. Penulis menggunakan BBA sebagai bahan penelitian dikarenakan hidrogen dapat

digunakan sebagai bahan bakar alternatif yang memiliki efisiensi tinggi, hasil pembakaran yang bersih dan dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama.



Gbr 1.1 Hanya bahan bakar hidrogen yang memenuhi ke-tiganya.

1.2 PERMASALAHAN

1. Dalam menginjeksikan gas hasil elektrolisa air diperkirakan jumlah gas yang masuk akan berbeda-beda dikarenakan pengendalian laju aliran dan pengukurannya sulit untuk dilakukan dengan fasilitas yang ada.
2. Pengujian menggunakan motor supra X 125 CC sehingga tidak dimungkinkan adanya variasi pembebanan pada RPM yang sama untuk mendapatkan specific fuel consumption.

1.3 TUJUAN

Adapun tujuan dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Membuktikan bahwa gas hasil elektrolisa air dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif untuk menggerakkan motor bakar.
2. Membandingkan jumlah konsumsi BBM antara sebelum dan setelah ditambah gas hasil elektrolisa air.
3. Membandingkan gas hasil pembakaran antara sebelum dan setelah ditambah gas hasil elektrolisa air.
4. Mengetahui besarnya persentase penghematan konsumsi BBM setelah ditambah gas hasil elektrolisa air kedalam ruang bakar.
5. Mengetahui perbandingan antara energi yang diperlukan untuk membentuk gas hidrogen dengan dengan energi yang gas hidrogen yang terbentuk

1.4 BATASAN MASALAH

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu :

1. Pada tugas akhir ini hanya mengkaji jumlah konsumsi BBM yang dibutuhkan.

2. Sumber energi untuk menghasilkan gas hasil elektrolisa menggunakan listrik PLN.
3. Penambahan gas hasil elektrolisa air, dari reaktor elektrolisa diinjeksikan langsung ke motor bakar (tanpa ditampung terlebih dahulu).

1.5 METODOLOGI PENULISAN

1.5.1 Studi Literatur

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

1.5.2 Persiapan alat uji

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

1.5.3 Proses Pengambilan Data

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

1.5.4 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.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Penulisan tugas akhir ini mengikuti sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini membahas tentang konsep-konsep yang menjadi dasar teori dalam penelitian ini, seperti unjuk kerja motor bakar, karakteristik bahan bakar.

BAB III PENGUJIAN MOTOR BAKAR

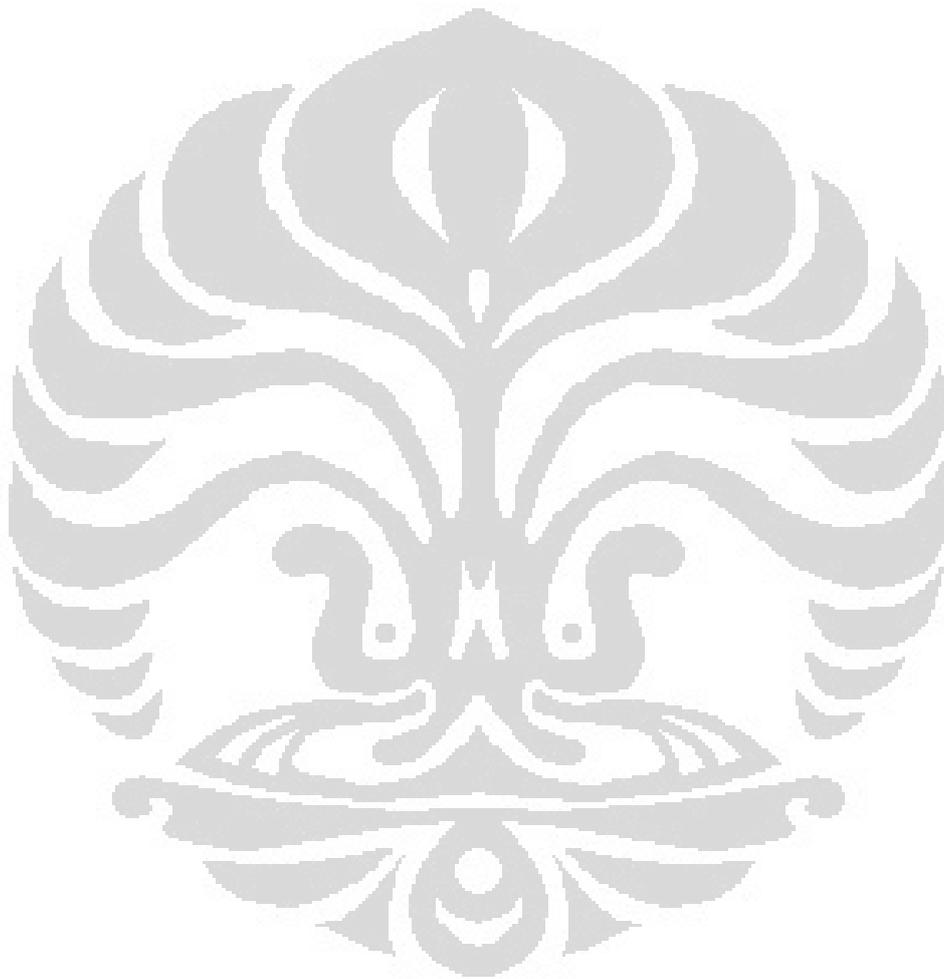
Bab ini membahas skema alat pengujian, prosedur dan metoda dalam pengujian dan pengambilan data untuk melihat unjuk kerja sistem yang telah dibuat.

BAB IV HASIL DAN ANALISA

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

BAB V KESIMPULAN

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



BAB II LANDASAN TEORI

2.1 MOTOR OTTO^[1]

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

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

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

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

2.1.1 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.

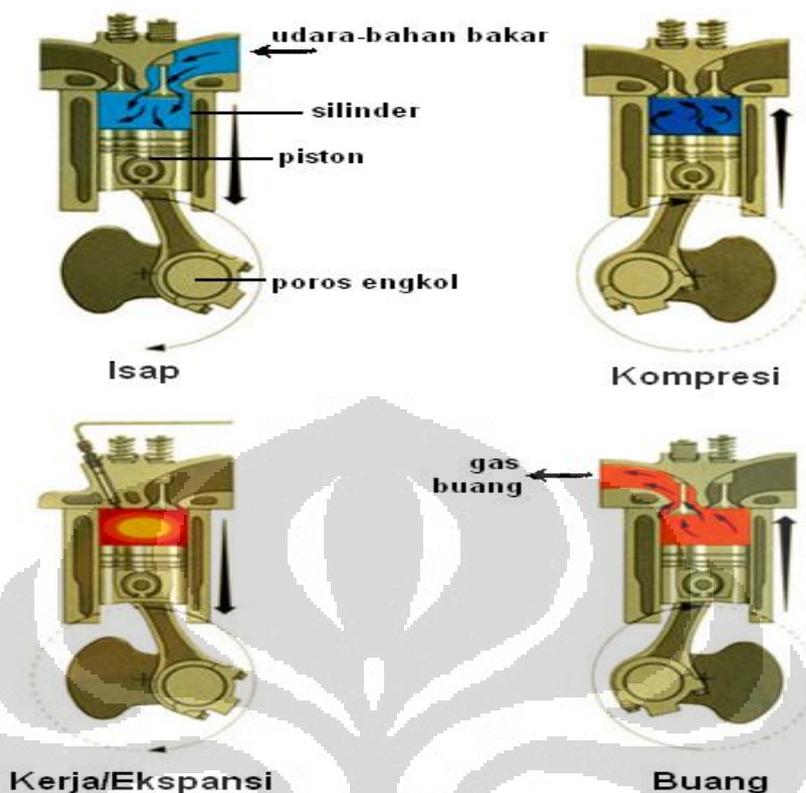
3. Torak

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

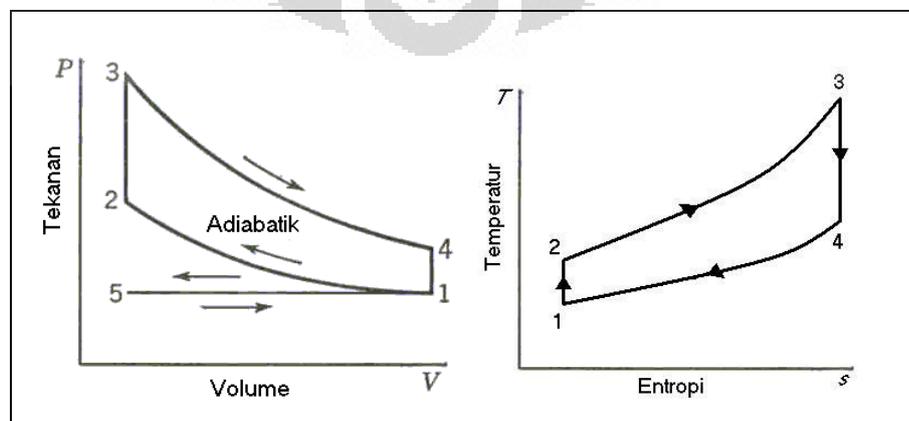
Pada mesin 4 langkah, torak bergerak bolak-balik dalam silinder dari Titik Mati Atas (TMA) menuju Titik Mati Bawah (TMB) sebanyak 4 kali atau 2 putaran engkol untuk memenuhi 1 siklus kerja. Jarak yang ditempuh torak selama gerakan bolak-balik disebut dengan *stroke* atau langkah torak. Langkah-langkah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



Gbr 2.1 Urutan siklus kerja motor bakar 4 langkah.

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 analisis terhadap karakteristik internal motor *Otto*.



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

Langkah-langkah pada mesin *Otto* 4 langkah dapat dilihat pada gambar 2.1. Langkah-langkah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Langkah hisap (*intake*)

Selama langkah hisap 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 terhisap masuk ke dalam ruang bakar melalui katup masuk. Langkah hisap berakhir ketika torak telah mencapai TMB.

2. Langkah kompresi (*compression*)

Selama langkah kompresi katup hisap 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 2.2. perhitungan-perhitungan yang berhubungan dengan siklus ini adalah sebagai berikut :

Proses 1-2 kerja kompresi isentropik :

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

Proses 2-3 pemasukan kalor pada volume konstan

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

Proses 3-4 kerja ekspansi isentropik yang dihasilkan

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

Proses 4-1 pengeluaran gas buang pada volume konstan

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

Dari perhitungan diatas didapat

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

besarnya efisiensi termal :

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

2.2 KARBURATOR



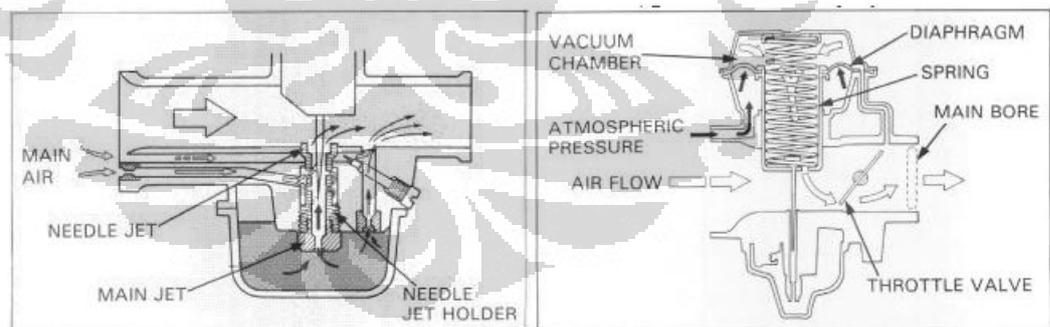
Gbr 2.3. karburator Supra X 125 CC

Karburator adalah bagian dari motor otto yang berfungsi sebagai tempat pencampuran antara bensin dengan udara, hasil pencampuran tersebut digunakan untuk proses pembakaran di dalam ruang bakar, pada umumnya karburator haruslah mencampur udara sebanyak sekitar 15 kali massa bensin yang dikeluarkan agar tercapai pembakaran yang maksimal, kecepatan mesin dikontrol dengan cara meningkatkan atau menurunkan debit dari campuran bensin dengan udara.

Karburator memiliki bowl chamber yang berfungsi sebagai penampung bensin sementara, ketika bowl chamber terisi penuh maka pelampung yang terdapat pada bagian atas chamber akan menutup saluran bensin yang berasal dari tempat penyimpanan bahan bakar, ketika motor bekerja maka volume bensin pada chamber akan berkurang dan pelampung akan membuka kembali saluran bensin.

Udara dan bensin bercampur di venturi yang terdapat pada bagian throat karburator, venturi berfungsi untuk mempercepat laju udara dan menurunkan tekanan ketika melewati venturi. Semakin besar tekanan udara pada bowl chamber maka akan menekan bensin untuk bergerak melewati jets menuju venturi. Udara kemudian mengubah fase bensin dari liquid menjadi vapor. Daerah vakum pada intake manifold kemudian menghisap udara dan bensin yang berbentuk vapor ke dalam ruang bakar.

Skip (throttle valve) yang terdapat pada karburator berfungsi untuk mengatur kecepatan motor dengan cara mengatur banyak atau sedikit udara dan bensin yang masuk ke dalam intake manifold.



Gbr 2.4. Skema sederhana karburator

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:

Konsumsi Bahan Bakar / Fuel Consumption (FC)

$$BFC = \frac{V_f}{t} \cdot \frac{3600}{1000} \quad (2.7)$$

Keterangan:

BFC = konsumsi bahan bakar (L/jam)

V_f = konsumsi bahan bakar selama t detik (mL)

t = interval waktu pengukuran konsumsi bahan bakar (detik)

Laju Aliran massa Bahan Bakar (\dot{m}_f)

$$\dot{m}_f = \frac{BFC \cdot \rho_f}{3600 \cdot 1000} \quad (2.8)$$

Keterangan:

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

BFC = konsumsi bahan bakar (L/jam)

ρ_f = massa jenis bahan bakar (kg/m³)

Laju aliran massa Udara (\dot{m}_a)

$$\dot{m}_a = \frac{AFR \cdot BFC \cdot \rho_f}{3600 \cdot 1000} \quad (2.9)$$

Keterangan :

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

\dot{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

Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (BSFC)

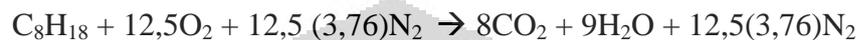
$$BSFC = \frac{BFC}{BHP} \cdot \rho_f \quad (2.10)$$

keterangan :

<i>BSFC</i>	= konsumsi bahan bakar spesifik (gr/hp.h)
<i>BFC</i>	= konsumsi bahan bakar (l/h)
<i>BHP</i>	= daya keluaran mesin (hp)
ρ_f	= massa jenis bahan bakar (kg/m^3)

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 N_2 dengan % vol O_2 pada udara bebas yaitu $79\% / 21\% = 3,76$ dengan menganggap gas lainnya seperti argon, CO_2 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 CO_2 , H_2O , N_2 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 (m_f) adalah 1 kmol (114 kg/kmol) = 114 kg

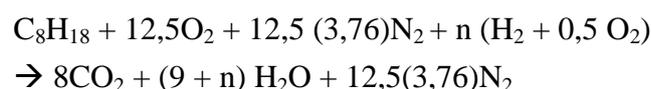
Massa udara (m_a) adalah 12,5 (4,76) kmol (29 kg/kmol) = 1725,5 kg , sehingga AFR untuk reaksi tersebut

$$\text{AFR} = m_a / m_f = 1725,5 / 114 = 15,13.$$

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 ($\text{H}_2 + 0,5 \text{ O}_2$) dan dengan asumsi bahwa jumlah gas $\text{H}_2 + \text{O}_2$ yang di hasilkan reaktor elektrolisa air adalah proporsional, maka stoikiometri pembakaran yang terjadi adalah:



Dengan menambah sejumlah $n \text{ H}_2 + 0,5 \text{ O}_2$, dimana nilai n adalah jumlah mol gas elektrolisa yang masuk ke ruang bakar. Penambahan gas elektrolisa ini

secara ideal tidak mempengaruhi AFR standarnya, karena oksidator gas H_2 telah setimbang dari yang dihasilkan oleh reaktor elektrolisa air.

2.5 TERBENTUKNYA POLUTAN PADA ALIRAN GAS BUANG

Bahan pencemar (polutan) yang berasal dari kendaraan bermotor di bedakan menjadi polutan primer atau sekunder. Polutan primer seperti karbon monoksida (CO), sulfur oksida (SO_x), nitrogen oksida (NO_x) dan hidrokarbon (HC) langsung dibuang ke udara bebas dan mempertahankan bentuknya seperti pada saat pembuangan. Polutan sekunder seperti ozon (O_3) 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 seimbangny 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 CO_2 . 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 (SO_x), 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.

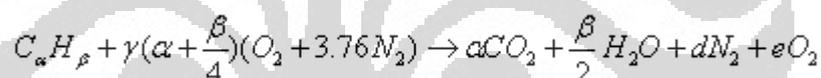
2.5.4 Udara Berlebih (Excess Air)

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.

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

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

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).

Elektrilisis 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 :



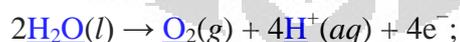
Reduksi adalah reaksi penerimaan atau penangkapan elektron.

Contoh reaksi reduksi :

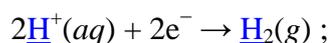


Pada reaksi oksidasi, elektron berada di ruas kanan
 Pada reaksi reduksi,, elektron berada di ruas kiri

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 : H_2O teroksidasi menjadi O_2 dan 4H^+ tereduksi menjadi 2H_2 . 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 : H_2O merupakan reduktor, sedangkan 4H^+ merupakan oksidator.

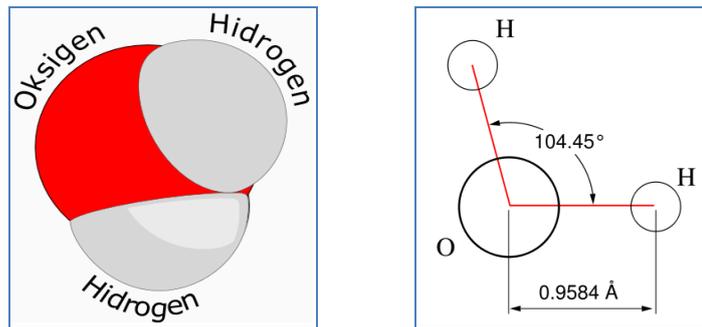
Reduktor = Zat yang mengalami oksidasi

Oksidator = Zat yang mengalami reduksi

2.7 Karakteristik air

Air adalah substansi kimia dengan rumus kimia H_2O : 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.

SIFAT-SIFAT AIR	
Nama lain	Aqua, dihidrogen monoksida, hidrogen hidroksida
Rumus molekul	H_2O
Masa molar	18.0153 g/mol
Densitas dan fase	0.998 g/cm ³ (cariran 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)



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](#), ber[valensi](#) 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.

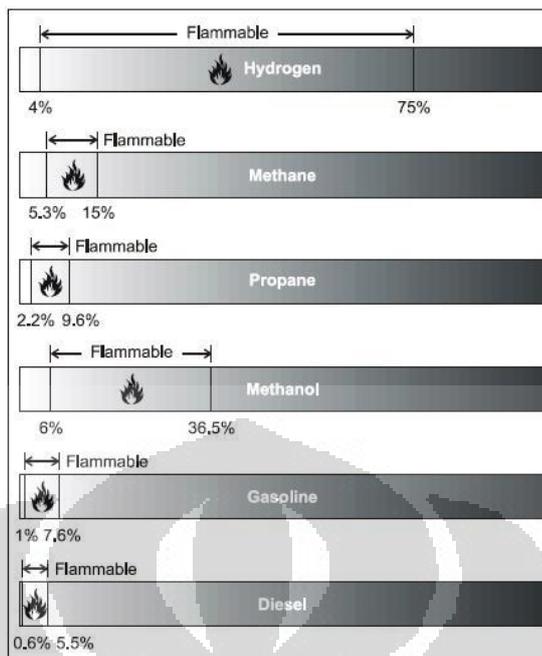
Oleh karena itu, sangatlah sulit mendeteksi terjadinya kebocoran hidrogen secara visual.

SIFAT KIMIA DAN FISIKA HIDROGEN	
Fase Massa jenis	gas
Massa jenis	(0°C;101,325kPa) 0,08988 g/L
Titik lebur	14,01 K (-259,14 °C , -434,45 [°] F)
Titik didih	20,28 K (-252,87 °C , -423,17 °F)
Kalor peleburan	(H ₂) 0,117 kJ/mol
Kapasitas kalor	(25 °C) (H ₂) 28,836 J/(mol·K)
Suhu kritis	32,19 K
Tekanan kritis	1,315 Mpa
Densitas kritis	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 :

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

Tabel 2.1 Nilai oktan berbagai bahan bakar



Tabel 2.2 Sifat kemampuan bakar berbagai jenis bahan bakar

Dari keterangan 2 buah 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.

SIFAT KIMIA DAN FISIKA OKSIGEN	
Fase Massa jenis	gas
Massa jenis	(0 °C; 101,325 kPa) 1,429 g/L
Titik lebur	54,36 K (-218,79 ° C , -361,82 ° F)
Titik didih	90,20 K (-182,95 ° C , -297,31 ° F)

Kalor peleburan	(O ₂) 0,444 kJ/mol
Kapasitas kalor	(25 °C) (O ₂) 29,378 J/(mol·K)
Suhu kritis	(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) :

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

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".

$$m_1 : m_2 = \frac{Ar.1}{PBO.1} : \frac{Ar.2}{PBO.2}$$

Contoh:

hidrogen + oksigen → hidrogen oksida
 (4g) (32g) (36g)

2.8.3 Persamaan-Persamaan Gas Ideal

Untuk gas ideal berlaku persamaan :

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

dimana:

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 : $P_1 V_1 = P_2 V_2$

Contoh:

Berapa tekanan dari 0.5 mol O₂ dengan volume 10 liter jika pada temperatur tersebut 0.5 mol NH₃ mempunyai volume 5 liter dan tekanan 2 atmosfer ?

Jawab:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$2.5 = P_2 \cdot 10 \rightarrow P_2 = 1 \text{ atmosfer}$$

2.8.3.2 Hukum Gay-Lussac

"Volume gas-gas yang bereaksi dan 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 dan diturunkan dengan keadaan $n_1 = n_2$ sehingga diperoleh persamaan:

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

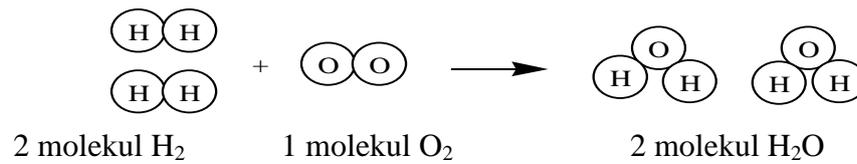
2.8.3.4 Hukum Avogadro

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

Contoh :

Pada pembentukan molekul H₂O





2.8.4 Hukum Faraday

Dalam sel elektrolisis banyaknya massa yang terbentuk pada elektrode dapat dihitung dengan hukum faraday.

- Hukum faraday 1

Masa zat yang terbentuk pada elektrode selama elektrolisis berbanding lurus dengan jumlah listrik yang mengalir melalui sel elektrolisis.

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{Ar}{PBO} \cdot F & \text{atau} & \quad mol = \frac{F}{PBO} \\
 m &= \frac{Ar}{PBO} \cdot \frac{Q}{96.500} & Q &= i \cdot t
 \end{aligned}
 \tag{2.9}$$

Dimana :

m = massa zat hasil pada elektrode (gram)

F = arus listrik (Faraday)

Q = muatan listrik (coulomb)

i = kuat arus listrik (ampere)

t = waktu elektrolisis (detik)

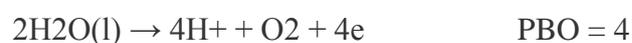
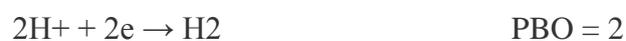
$$PBO = \frac{\text{Jumlah Elektron Dilepas / Diikat}}{\text{Koefisien Zat}}
 \tag{2.10}$$

- Untuk logam, maka PBO = valensi logam

Contoh: $\text{Cu}^{+2} + 2e \rightarrow \text{Cu}$ PBO Cu = 2

- Untuk gas, umumnya PBO = 2, khusus gas O₂ PBO = 4

Contoh :

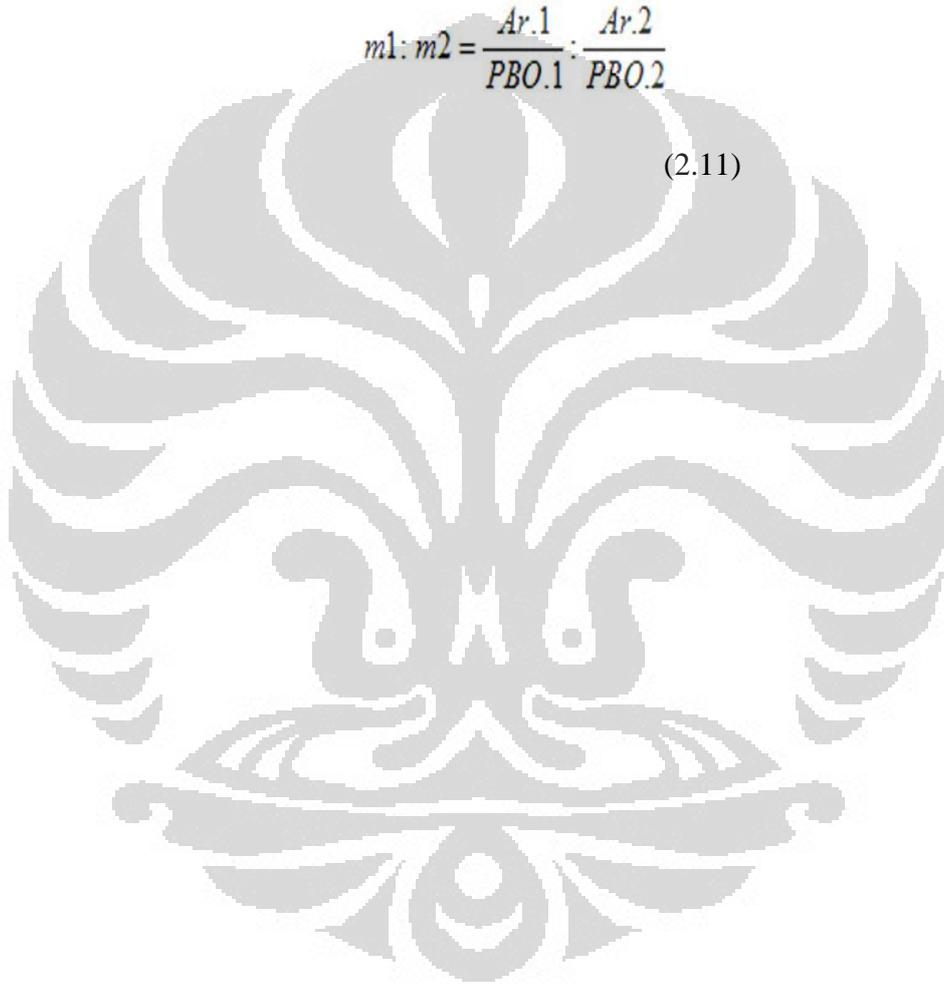


- Hukum faraday 2

Dalam elektrolisis dengan sejumlah arus yang sama (rangkaian sel elektrolisis seri) akan dihasilkan berbagai jenis zat dengan jumlah ekivalen zat tersebut.

$$m_1 : m_2 = \frac{Ar.1}{PBO.1} : \frac{Ar.2}{PBO.2}$$

(2.11)



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Penelitian

Untuk mencapai tujuan yang ingin dicapai maka dalam penelitian ini akan digunakan metode penelitian eksperimental, yaitu metode yang dapat dipakai untuk menguji pengaruh gas hasil elektrolisa air pada motor bakar dengan cara membandingkan konsumsi BBM suatu motor bakar yang ditambahkan gas hasil elektrolisa air dengan konsumsi BBM motor bakar tersebut tanpa ditambahkan gas hasil elektrolisa air sebagai pembanding.

Pada eksperimen ini pengujian dilakukan dengan memvariasikan putaran motor (*variable speed*), dan bahan bakarminyak yang digunakan.

3.2 Alat Uji

Peralatan uji yang digunakan pada penelitian ini antara lain adalah:

1. Motor Supra X 125 CC , dengan spesifikasi sebagai berikut:

1.1 Dimensi

Panjang : 1.889 mm

Lebar : 702 mm

Tinggi : 1.094 mm

1.2 Kapasitas

Jarak sumbu roda : 1.242 mm

Oli mesin : 0,9 liter

Tangki bahan bakar : 3,7 liter

1.3 Mesin

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

Perbandingan kompresi : 9,0 : 1

Volume langkah : 124,8 cm³

Jarak renggang busi : 0,80 – 0,90 mm

1.4 Transmisi

Reduksi primer : 3,350

Perbandingan gigi

gigi 1 : 2,500

Gigi 2 : 1,550

Gigi 3 : 1,150

Gigi 4 : 0,923
Reduksi akhir : 2,500



Gambar 3.1 Sepeda motor Honda Supra X 125 cc

2. Tabung reaksi elektrolisa

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



Gambar 3.2. Tabung reaktor elektrolisa.

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

3. Tabung ukur gas hasil elektrolisa air



Gambar 3.3 Tabung ukur gas hasil elektrolisa air

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

4. Spesifikasi *Gas Analyzer*

Merek	:	<i>Tecnotest</i>
Model	:	488
Jenis	:	<i>Multigas Tester</i> 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 <i>probe</i> 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.



Gbr 3.4 Technotest 488 plus *gas analyzer*.

5. Tabung reaktor elektrolisa air

- Kapasitas air 1 L
- 8 pelat *stainless steel* 5cm X 15 cm,
4 pelat katoda, 4 pelat anoda
- Elektrolit menggunakan ± 0.35 gram KOH

6. *DC power supply*

- Voltase : 12 V, 24 V
- Arus maksimal : 50 A
- *Power source* : 220 V / 50 Hz

7. Timbangan digital AND FX 4000

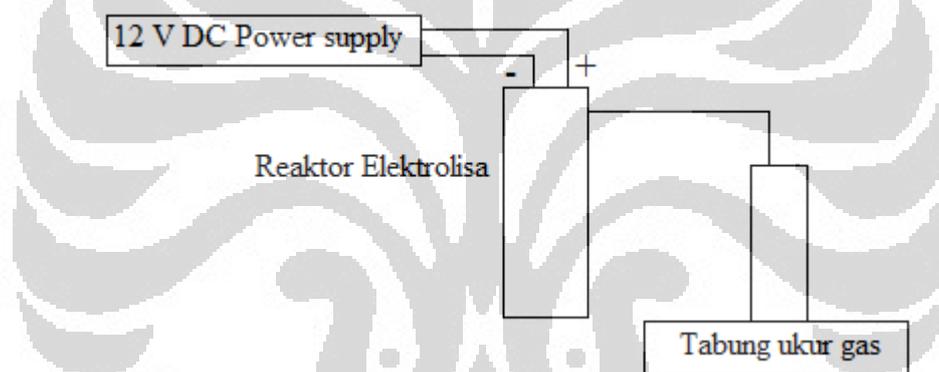
8. Gelas ukur 50 ml, ketelitian 0.1 ml

9. Stopwatch

3.3 Skematik Alat Uji

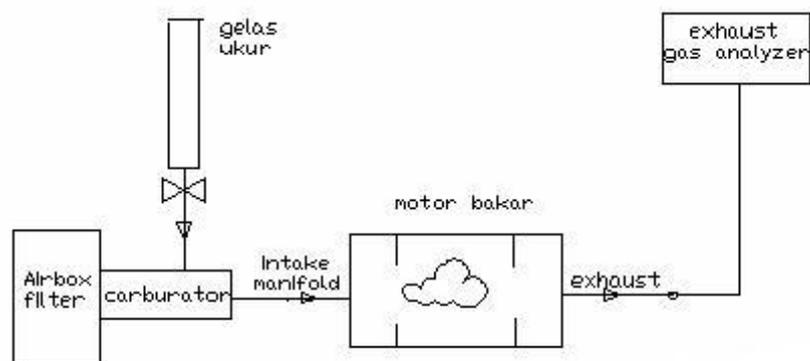
Sebelum melakukan pengujian pada motor bakar, perlu didapatkan seberapa besar laju produksi gas elektrolisa air yang dihasilkan oleh reaktor. Untuk mengukur lajunya, gas hasil elektrolisa air yang dihasilkan oleh reaktor di alirkan ke tabung ukur gas dan diukur produksinya mengikuti skematik berikut.

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

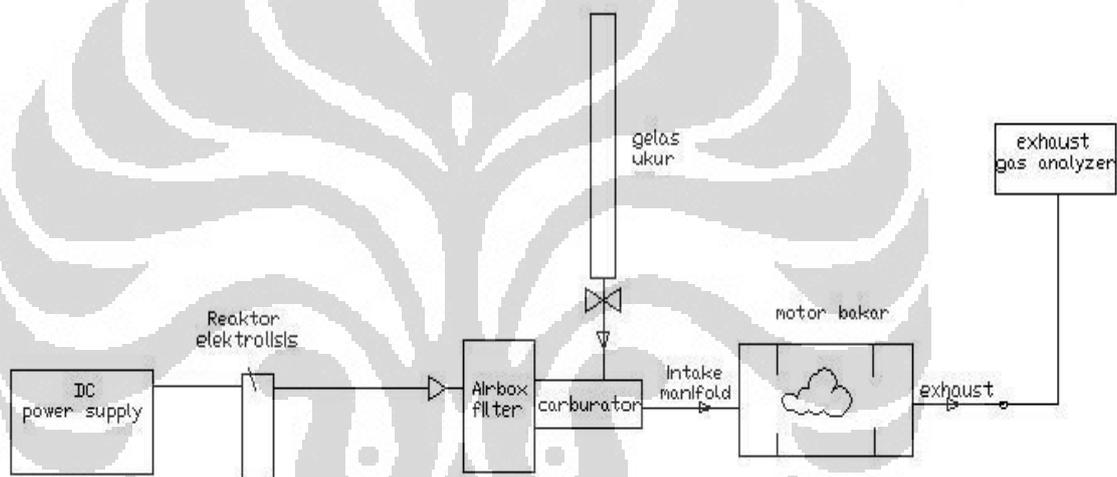


Gbr 3.5 Skema pengukuran volume gas hasil elektrolisa.

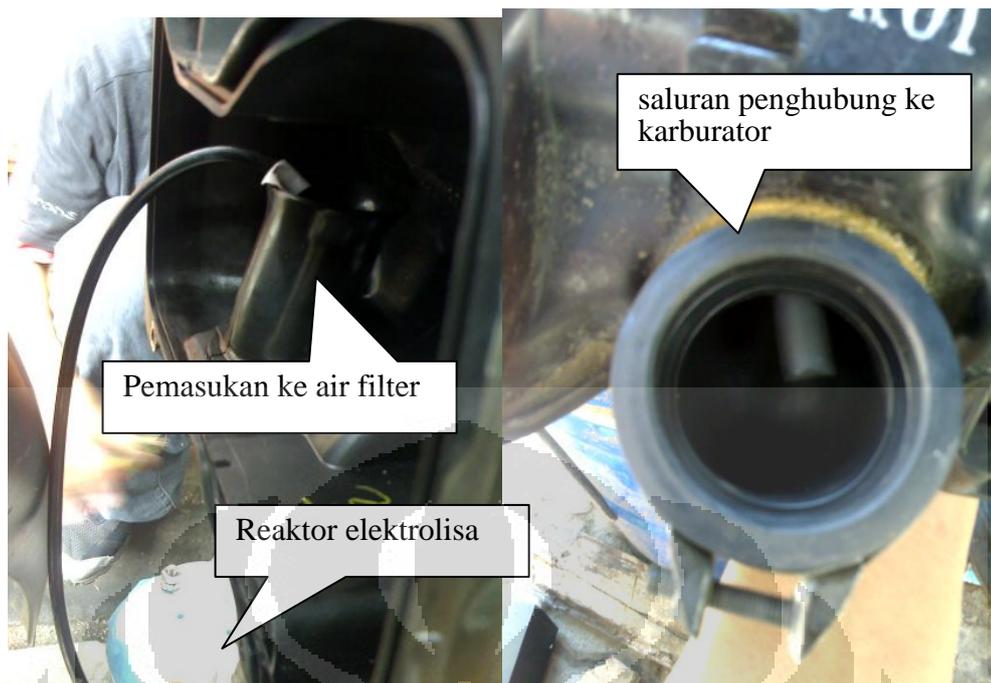
Pengoperasian pengujian motor bakar empat langkah dengan bahan bakar minyak campur gas hasil elektrolisa air ini dilakukan dengan menggunakan media motor Supra X 125 CC. Dalam pelaksanaannya pengujian yang pertama dilakukan adalah mengukur debit gas hasil elektrolisa yang tercipta dari reaktor dengan arus tertentu, kemudian dilakukan pengujian fuel consumption (fc) dengan kondisi pilot jet normal dan bahan bakar hanya bensin tanpa diinjeksikan gas hasil elektrolisa air, kemudian dilakukan pengambilan data fc kembali dengan kondisi yang sama dan diberi penambahan gas hasil elektrolisa air yang diinjeksikan melalui air filter, metode pengujian tersebut dilakukan kembali dengan ukuran pilot jet yang berbeda. pengujian ini dimaksudkan untuk mendapatkan data pembandingan. skema alat uji disusun seperti yang terlihat pada gambar.



Gbr 3.6 skema alat uji tanpa gas elektrolisa air.



Gbr 3.7 Skema alat uji dengan injeksi gas elektrolisa air.



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

3.4 Prosedur Pengujian

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

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

3.4.1 Prosedur Pengukuran Laju Produksi Gas Hasil Elektrolisa Air

1. Pasang seluruh alat-alat pengukuran sesuai skematik gambar 3.3
2. Isi baskom dengan air hingga lubang tabung ukur terendam dan isi juga tabung ukur dengan air hingga penuh.
3. Menyalakan sumber tegangan DC selama satu menit.
4. Mengukur seberapa banyak gas elektrolisa air yang memasuki tabung ukur dengan melihat seberapa banyak penurunan air dari kolom tabung.
5. Setiap penurunan satu sentimeter air, sesuai dengan perhitungan matematis, maka gas yang masuk sebanyak $30,19 \text{ cm}^3$.
6. pengukuran diulang sebanyak sepuluh kali dan dihitung rata-ratanya.



Gambar 3.9. Setup alat untuk pengukuran laju produksi gas elektrolisa air

3.4.2 Prosedur pengujian dengan ukuran pilot jet standar tanpa gas hasil elektrolisa

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

7. Pastikan seluruh peralatan uji telah terpasang sebagaimana mestinya.
8. Mengisi bahan bakar pada gelas ukur.
9. Memutar engkol motor bakar untuk menghidupkannya.
10. Memanaskan motor bakar selama kurang lebih 5 menit untuk mencapai kondisi operasional.
11. Menyeting putaran motor sesuai variasi putaran dengan toleransi putaran ± 50 rpm.
12. Mencatat pembacaan alat ukur: waktu(s) untuk mengonsumsi 10ml bahan bakar, emisi gas buang CO(%), CO₂(%), HC(ppm) dan O₂(%).

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

1. Tekan tombol *engine switch* ke posisi *off*.
2. Tutup keran bahan bakar.

3. Matikan *gas analyzer* sesuai petunjuk penggunaan *technotest 488 plus*.

3.4.3 Prosedur pengujian dengan ukuran pilot jet standar dengan gas hasil elektrolisa

Bahan bakar yang digunakan pada pengujian ini adalah menggunakan bensin premium produk Pertamina yang didapat di SPBU Beji Depok, dan dicampur dengan gas hasil elektrolisa air di komponen *air filter*. Air yang digunakan adalah air keran yang terdapat di lantai 1 DTM FTUI dan ditambah 0.3 gram KOH sebagai elektrolit. Pelaksanaan pengujian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Pastikan seluruh peralatan uji telah terpasang sebagaimana mestinya.
2. Mengisi bahan bakar pada gelas ukur.
3. Memutar engkol motor bakar untuk menghidupkannya.
4. Memanaskan motor bakar selama kurang lebih 5 menit untuk mencapai kondisi operasional.
5. Mengaktifkan reaktor elektrolisis dengan menekan *switch on* pada *power supply DC* lalu buka keran aliran gas elektrolisa air..
6. Menyeting putaran motor sesuai variasi putaran motor dengan toleransi ± 50 rpm.
7. Mencatat pembacaan alat ukur: waktu(s) untuk mengonsumsi 10ml BBM, emisi gas buang CO(%), CO₂(%), HC(ppm) dan O₂(%).

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

3.4.4 Prosedur pengujian dengan ukuran pilot jet yang telah diperkecil tanpa gas hasil elektrolisa

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

1. Mengganti ukuran pilot jet yang terdapat di karburator dari ukuran 35 ke 30
2. Memasang seluruh peralatan uji dan memastikan telah terpasang sebagaimana mestinya.

3. Mengisi bahan bakar pada gelas ukur.
4. Memutar engkol motor bakar untuk menghidupkannya.
5. Memanaskan motor bakar selama kurang lebih 5 menit untuk mencapai kondisi operasional.
6. Menyeting putaran motor sesuai variasi putaran dengan toleransi putaran ± 50 rpm.
7. Mencatat pembacaan alat ukur: waktu(s) untuk mengonsumsi 10ml bahan bakar, emisi gas buang CO(%), CO₂(%), HC(ppm) dan O₂(%).

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

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

3.4.5 Prosedur pengujian dengan ukuran pilot jet yang telah diperkecil dengan gas hasil elektrolisa

Bahan bakar yang digunakan pada pengujian ini adalah menggunakan bensin premium produk Pertamina yang didapat di SPBU Beji Depok, dan dicampur dengan gas hasil elektrolisa air di komponen *air filter*. Air yang digunakan adalah air keran yang terdapat di lantai 1 DTM FTUI dan ditambah 0.3 gram KOH sebagai elektrolit. Pelaksanaan pengujian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Mengganti ukuran pilot jet yang terdapat di karburator dari ukuran 35 ke 30
2. Memasang seluruh peralatan uji dan memastikan telah terpasang sebagaimana mestinya.
3. Mengisi bahan bakar pada gelas ukur.
4. Memutar engkol motor bakar untuk menghidupkannya.
5. Memanaskan motor bakar selama kurang lebih 5 menit untuk mencapai kondisi operasional.

6. Mengaktifkan reaktor elektrolisis dengan menekan *switch on* pada *power supply* DC lalu buka keran aliran gas elektrolisa air..
7. Menyeting putaran motor sesuai variasi putaran motor dengan toleransi \pm 50 rpm.
8. Mencatat pembacaan alat ukur: waktu(s) untuk mengonsumsi 10ml BBM, emisi gas buang CO(%), CO₂(%), HC(ppm) dan O₂(%).



BAB IV 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 rektor dan dialirkan ke ruang bakar. Pengukuran dilakukan sebanyak sepuluh kali untuk mengambil rata-ratanya.

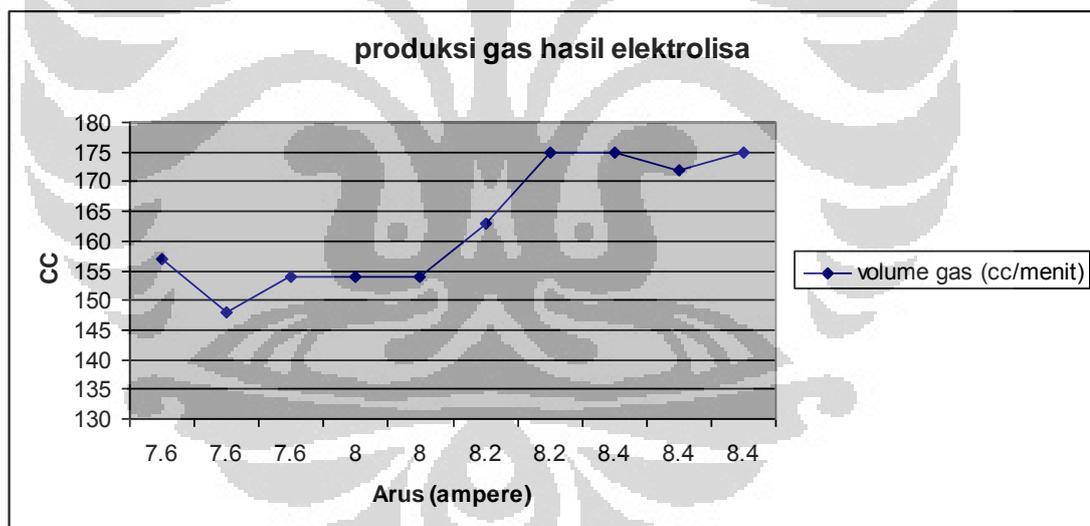
Volume reaktor = 1 liter air

Banyaknya KOH = 0,35 gram

Tegangan sumber DC = 13,8 Volt

Rata-rata produksi gas per menit = 162 CC/menit

Berikut ini adalah bentuk grafiknya:



Gambar 4.1 grafik produksi gas/menit vs arus

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 arus yang digunakan : 8.04 ampere

Rata-rata besarnya gas hasil elektrolisa yang dihasilkan : 162 CC

Reaksi kimia pembentukan gas hidrogen:



Daya yang dibutuhkan untuk memproduksi gas hidrogen selama 1 menit adalah:

$$P = V \cdot I \cdot T$$

Dimana:

V = tegangan (volt)

I = arus (ampere)

T = waktu (detik)

Maka

$$p = 13,8 \times 8,04 \times 60$$

$$p = 6657,12 \text{ joule}$$

Daya yang dihasilkan oleh proses elektrolis dapat dicari dengan menggunakan hukum faraday sebagai berikut :

$$mH_2 = \frac{ArH_2}{PBO} \cdot i \cdot t$$

$$mH_2 = 1 \times 13,8 \times 60$$

$$mH_2 = 0,005 \text{ gram}$$

Diketahui $E_{H_2} = 121 \text{ MJ/kg}$

Maka daya yang dihasilkan adalah:

$$P = Mr H_2 \cdot E_{H_2}$$

$$P = 0,05 \times 121 \times 10^6 \times 10^{-3}$$

$$P = 605 \text{ joule}$$

Besarnya efisiensi energi dalam proses dalam pembentukan gas hasil elektrolisa adalah :

$$\eta = \frac{E_{out}}{E_{in}} \times 100$$

$$= \frac{605}{6657,12} \times 100$$

$$= 9,08\%$$

4.2 Hasil pengujian konsumsi bahan bakar

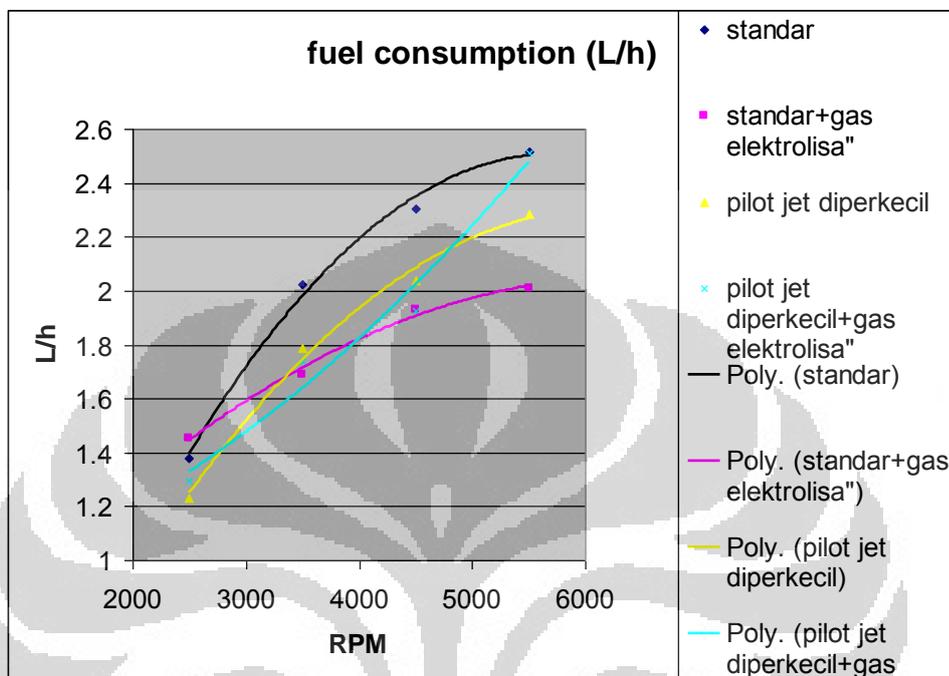
Percobaan pertama dilakukan pada motor bakar tanpa penambahan gas hasil elektrolisa air, hal untuk mengetahui seberapa besar laju konsumsi BBM yang dibutuhkan motor bakar dalam kondisi tanpa penambahan gas hasil elektrolisa air. Berikut adalah contoh perhitungan dan hasil dari percobaan yang dilakukan:

$$V_{bb} = 10 \text{ ml} = 0,01 \text{ L}$$

$$t = 26 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned}
 f_c \text{ (L/h)} &= V_{bb} \text{ (L)} \times 3600 / t \text{ (s)} \\
 &= 0.01 \times 3600 / 26 = 1,38 \text{ L/h}
 \end{aligned}$$

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



Gbr 4.2 Laju 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 pada ukuran standar dengan ditambah gas hasil elektrolisa air.

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

Contoh perhitungan pada rpm 3500 dengan kondisi pilot jet standar ditambah dengan gas hasil elektrolisa:

$$f_{c_{\text{tanpa}}} = 2,02 \text{ L/h}$$

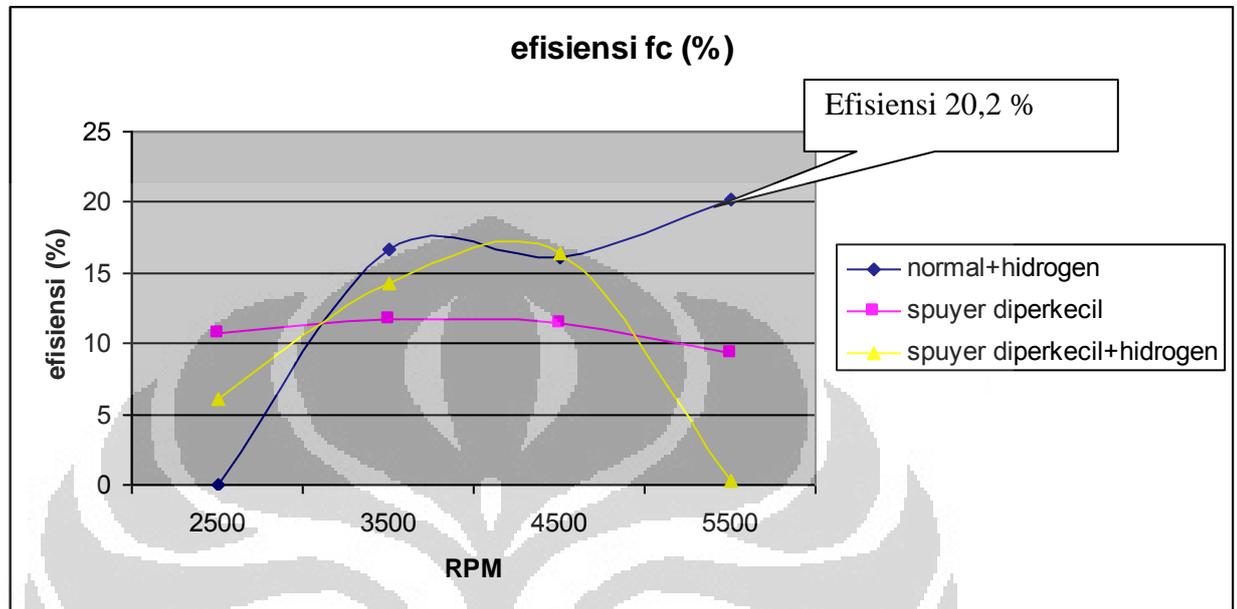
$$f_{c_{\text{+gas}}} = 1,68 \text{ L/h}$$

$$\Delta f_c = f_{c_{\text{tanpa}}} - f_{c_{\text{+gas}}} = 2,02 - 1,68 = 0,34 \text{ L/h}$$

Maka persentase penghematan BBM adalah:

$$\% = (\Delta f_c / f_{c_{\text{tanpa}}}) \times 100 = (0,34 / 2,02) \times 100 = 17\%$$

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



Gbr 4.3 Grafik persentase penghematan BBM.

Dengan melihat gambar 4.8, terlihat bahwa penghematan BBM yang maksimal terjadi pada rpm 5500 dengan kondisi pilot jet pada keadaan standar dan ditambah dengan gas hasil elektrolisa, penghematan yang terjadi adalah sebesar 20,2%, namun pada kondisi yang sama pula pada RPM 2500 terjadi pemborosan FC sebesar 5,23 % karena merupakan pemborosan maka tidak dimasukkan ke dalam grafik efisiensi dan dianggap tidak terjadi efisiensi pada kondisi tersebut pada RPM 2500.

Pada kondisi sebenarnya pemakaian kendaraan bermotor tidaklah mungkin konstan pada suatu RPM 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:

rpm	kondisi		
	Normal+Hidrogen	Pilot jet diperkecil	Pilot jet diperkecil +hidrogen
2500	-5.23	10.67	6.12
3500	16.65	11.66	14.28
4500	16.13	11.48	16.42
5500	20.15	9.28	0.23
Efisiensi rata-rata (%)	11.92	10.77	9.26

Tabel 4.1 Efisiensi rata-rata.

Dari tabel dapat dilihat bahwa efisiensi tertinggi didapat pada kondisi pilot jet pada ukuran standar ditambah dengan gas hasil elektrolisa, efisiensi rata-rata yang didapat adalah sebesar 11.9%

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

RPM	FC dengan pilot jet standar (L/h)	FC dengan pengecilan pilot jet (L/h)
2500	1.381074169	1.233580811
3500	2.026266417	1.789857474
4500	2.303754266	2.039274924
5500	2.516895828	2.283298097
rata-rata FC	2.05699767	1.836502827

Tabel 4.2 FC pada berbagai RPM

Maka besarnya pengurangan FC adalah:

FC rata-rata pada keadaan standar - FC rata-rata pada keadaan pilot jet diperkecil
 $= 2,06 - 1,84 = 0,22 \text{ L/h}$

Maka massa bensin dapat dicari dengan cara:

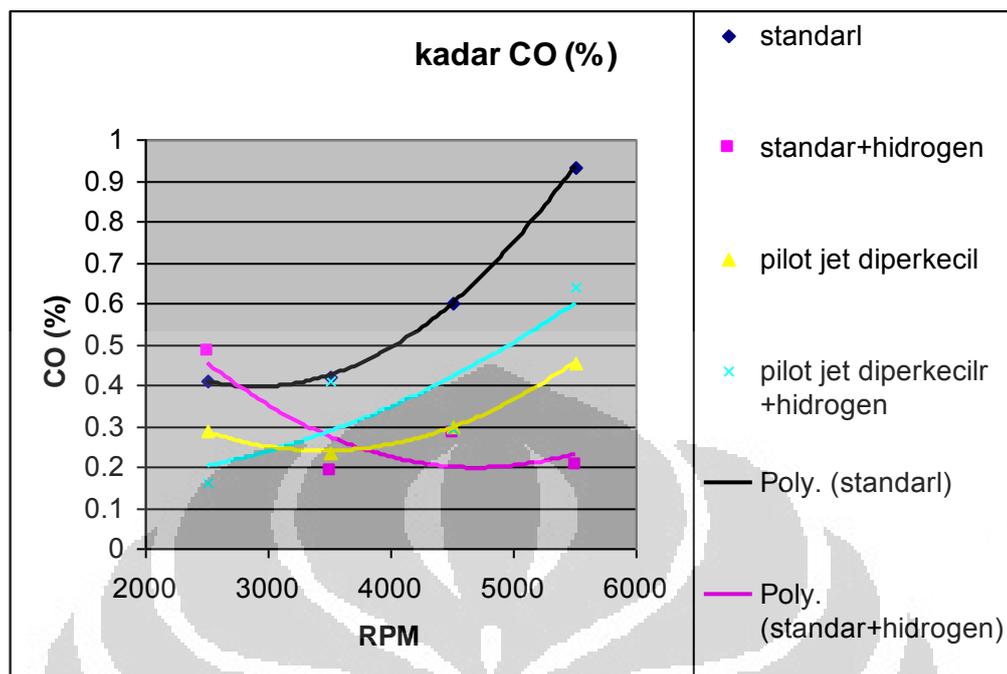
$$m = \frac{\rho \times V}{1000} = \frac{0,74 \times 0,22}{1000} = 0.00016 \text{ kg}$$

$$E_{\text{bensin}} = 38,4 \text{ MJ/kg}$$

Maka energi bensin yang hilang adalah:

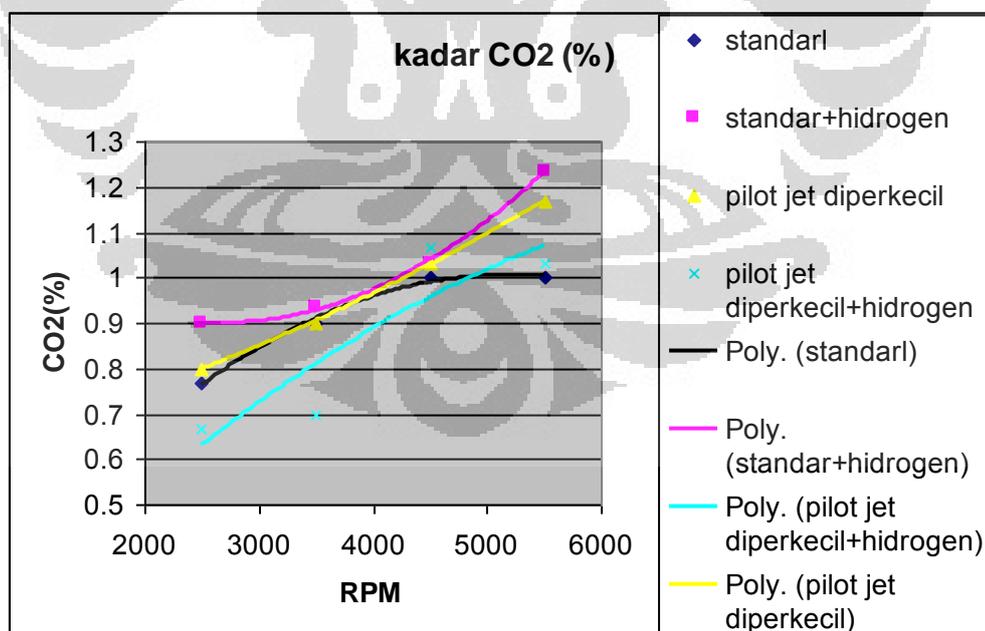
$$M \times E_{\text{bensin}} = 6265,58 \text{ joule}$$

4.2 Analisa emisi gas buang



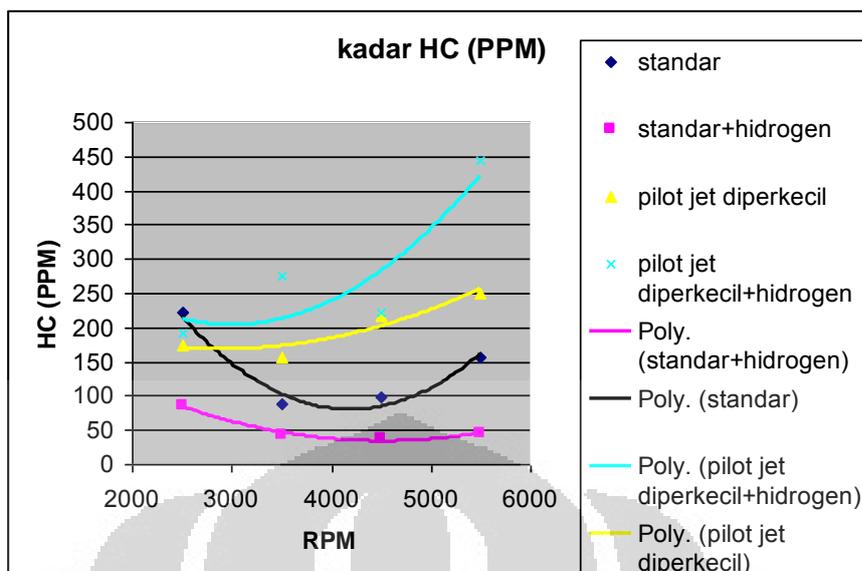
Gbr. 4.4 Kadar CO pada pengujian dengan berbagai kondisi.

Dari gambar 4.9 kadar CO yang terbaik terdapat pada kondisi pilot jet ukuran standar dengan penambahan gas hasil elektrolisa. Kadar CO menjadi lebih buruk pada kondisi penambahan gas hasil elektrolisa dengan kondisi pilot jet diperkecil.



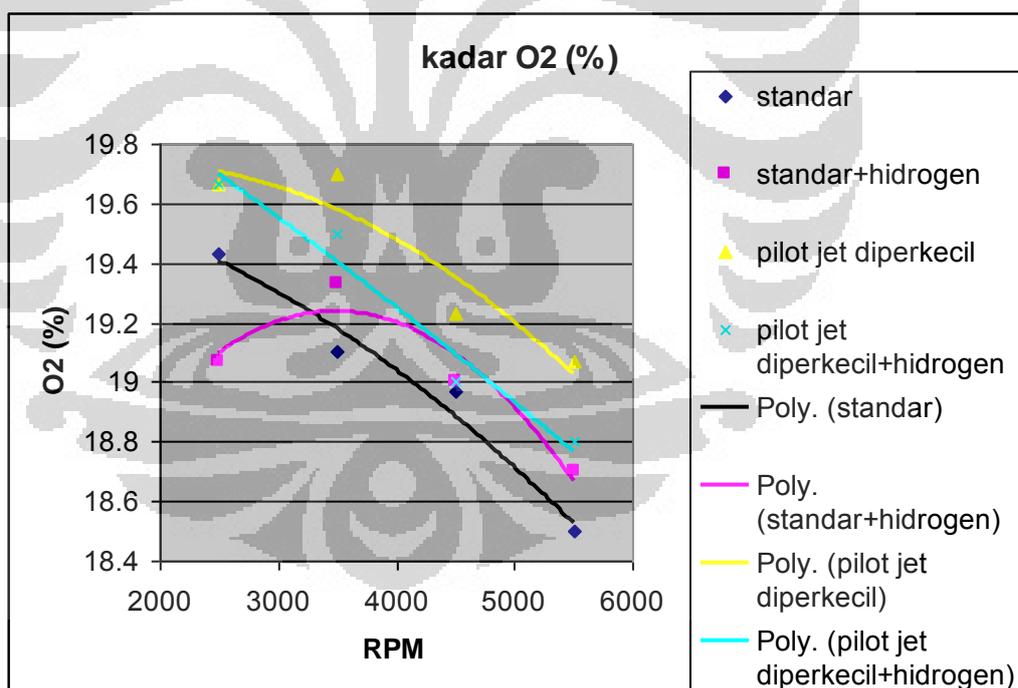
Gbr 4.5 kadar CO2 pada pengujian dengan berbagai kondisi.

Dari grafik kadar CO2 terbaik didapat pada kondisi pilot jet ukuran standar dengan penambahan gas hasil elektrolisa. Kadar CO2 menjadi lebih buruk pada kondisi penambahan gas hasil elektrolisa dengan kondisi pilot jet diperkecil.



Gbr 4.6 kadar HC pada pengujian dengan berbagai kondisi.

Dari grafik kadar HC terbaik didapat pada kondisi pilot jet ukuran standar dengan penambahan gas hasil elektrolisa. Kadar HC menjadi lebih buruk pada kondisi penambahan gas hasil elektrolisa dengan kondisi pilot jet diperkecil



Gbr 4.8 Kadar O2 pada pengujian dengan gas elektrolisa air.

Dari grafik kadar O2 terbaik didapat pada kondisi pilot jet ukuran standar tanpa 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 dengan 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 normal, menjadi lebih baik. Namun nilai gas buang pada pengujian tanpa gas elektrolisa air pun semakin tinggi putaran mesin semakin rendah emisinya.

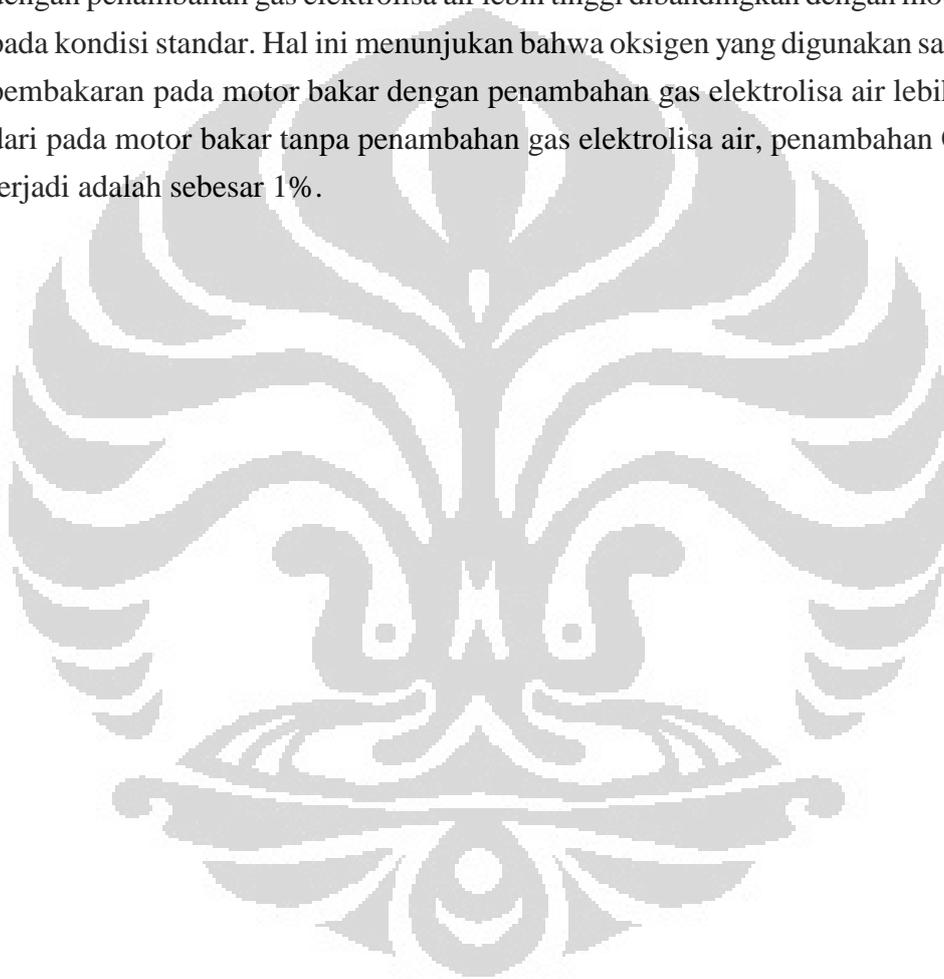
Dari grafik dapat dilihat meskipun emisi gas buang sama-sama menjadi lebih baik pada kondisi RPM tinggi, namun emisi gas buang paling baik terdapat pada kondisi pilot jet standar dengan penambahan gas hasil elektrolisa jika dibandingkan dengan ketiga kondisi lainnya (kecuali untuk emisi O₂), dari grafik kadar CO pada gambar 4.5 terlihat penurunan CO rata-rata sebesar 51% dibandingkan dengan kondisi standar.

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. Besarnya penurunan rata-rata kadar gas HC pada motor bakar pada kondisi pilot jet standar dengan penambahan gas elektrolisa air adalah sebesar 63% dengan rata-rata nilai HC 53 ppm, hal ini sangat jauh dengan kondisi standar dimana rata-rata nilai hc adalah 141 ppm.

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. Hal ini menunjukkan bahwa pada motor bakar pada kondisi pilot jet standar dengan gas elektrolisa air, pembakaran yang terjadi di ruang bakar menjadi lebih sempurna. Besarnya peningkatan kadar gas CO₂ rata-rata adalah sebesar 11% .

Kadar O_2 menandakan bahwa tingkat penggunaan udara (oksigen) dalam proses pembakaran, semakin rendah kadar O_2 semakin banyak udara yang dipergunakan untuk proses pembakaran yang berarti pembakaran yang terjadi semakin baik, namun sebaliknya jika kadar O_2 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 CO_2 .

Kadar O_2 yang dihasilkan oleh motor bakar pada kondisi pilot jet standar dengan penambahan gas elektrolisa air lebih tinggi dibandingkan dengan motor bakar pada kondisi standar. Hal ini menunjukkan bahwa oksigen yang digunakan saat proses pembakaran pada motor bakar dengan penambahan gas elektrolisa air lebih sedikit dari pada motor bakar tanpa penambahan gas elektrolisa air, penambahan O_2 yang terjadi adalah sebesar 1%.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

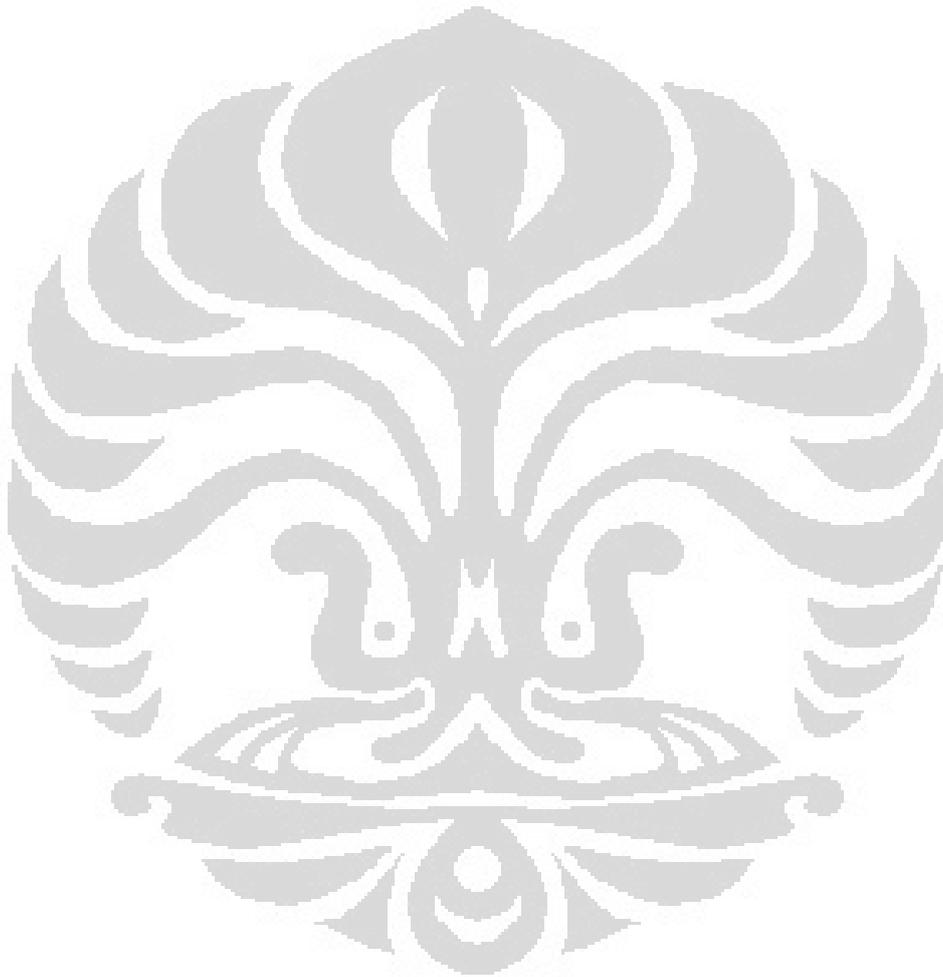
1. Secara keseluruhan, proses penambahan gas hasil elektrolisa air dapat mengurangi penggunaan BBM sebagai bahan bakar utama pada motor bakar 4 langkah.
2. Persentase penghematan BBM terbesar terjadi pada kondisi pilot jet pada ukuran normal ditambah dengan gas hasil elektrolisa, penghematan yang terjadi adalah sebesar 20,2 %.
3. penurunan konsumsi BBM rata-rata yang terjadi pada kondisi pilot jet pada ukuran normal ditambah dengan gas hasil elektrolisa adalah sebesar 11,9%
4. Pada kondisi pilot jet dengan ukuran standar ditambah dengan gas hasil elektrolisa, terjadi penurunan kadar CO yang paling baik bila dibandingkan dengan kondisi lainnya, terjadi penurunan rata-rata kadar CO sebesar 51%.
5. Pada kondisi pilot jet dengan ukuran standar ditambah dengan gas hasil elektrolisa, terjadi penurunan kadar HC yang paling baik bila dibandingkan dengan kondisi lainnya, terjadi penurunan rata-rata kadar HC sebesar 63%.
6. Pada kondisi pilot jet dengan ukuran standar ditambah dengan gas hasil elektrolisa, terjadi kenaikan kadar CO₂ yang paling baik bila dibandingkan dengan kondisi lainnya, terjadi kenaikan rata-rata kadar CO₂ sebesar 11%.
7. Pada kondisi pilot jet dengan ukuran standar ditambah dengan gas hasil elektrolisa, terjadi kenaikan rata-rata kadar O₂ sebesar 1%.
8. Dibandingkan dengan kondisi standar, pengujian pada kondisi pilot jet dengan ukuran standar ditambah dengan gas hasil elektrolisa menunjukkan hasil yang lebih baik dari sisi penghematan BBM, dan juga emisi gas buangnya.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian kedepannya, sebaiknya dibuat sistem terintegrasi pada kendaraan bermotor sehingga dimungkinkan reaktor elektrolisa dapat digunakan ketika kendaraan motor berjalan dan dilakukan road test.
2. Perlunya dilakukan penelitian mengenai bentuk pelat dan besarnya arus yang paling efisien untuk memproduksi gas hasil elektrolisa.
3. Dibuat test bed untuk pengujian beban pada motor bakar yang sudah diberi gas elektrolisa air.

DAFTAR ACUAN

[1] Rioko Aji ” PENGARUH PENAMBAHAN GAS ELEKTROLISA AIR TERHADAP KONSUMSI BBM PADA MOTOR BAKAR 4 LANGKAH 80CC DENGAN POSISI INJEKSI SETELAH KARBURATOR”. Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2008, hal. 7-20.



Daftar Referensi

Cengel, Dr. Yunus A., *THERMODINAMICS An Engineering Approach*, SI version, Third Edition, Mc Graw-Hill., United States of America, 1998.

Mardika, Ardi., *Analisis penggunaan venturi mixer 4 lubang terhadap perubahan performa dan emisi sepeda motor 4 langkah/125 CC dengan penambahan LPG*, Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2008.

Rimtahi Hasoloan, Reisal., *Studi pemanfaatan minyak kelapa sawit (CPO) sebagai bahan bakar mesin diesel genset*, Tesis, Magister Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2008

Sugiarto, Bambang. *Motor Pembakaran Dalam*. ISBN 979-97726-7-2

www.water4fuel.com

www.model-a.org

www.howstuffworks.com

LAMPIRAN

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

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

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

	Standard	Standard + Hidrogen	FC (ml/menit)	Pilot Jet kecil	Pilot Jet kecil + Hidrogen
500	23.0179	24.22285		20.55968	
500	33.77111	28.14699		29.83096	
500	38.3959	32.20036		33.98792	
500	41.94826	33.4946		38.05497	

Lampiran 3. Data efisiensi dari berbagai kecepatan putar dan kondisi

	Efisiensi (%)	
Standard + Hidrogen		Pilot Jet kecil
	-5.234827076	10.67961165
	16.65363565	11.66721909
	16.13595707	11.48036254
	20.15258653	9.281183932
	11.92683804	10.7770943

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

CO (%)				
Rpm	Standard	Standard + Hidrogen	Pilot Jet kecil	Pilot Jet kecil + Hidrogen
2500	0.41	0.483333	0.286666667	0.16
3500	0.42	0.19	0.233333333	0.41
4500	0.6	0.283333	0.3	0.293333333
5500	0.933333	0.203333	0.453333333	0.64

Lampiran 5. Data kadar CO₂ dari berbagai kecepatan putar dan kondisi

CO ₂ (%)				
Rpm	Standard	Standard + Hidrogen	Pilot Jet kecil	Pilot Jet kecil + Hidrogen
2500	0.766667	0.9	0.8	0.666666667
3500	0.9	0.933333	0.9	0.7

4500	1	1.033333	1.033333333	1.066666667
5500	1	1.233333	1.166666667	1.033333333

Lampiran 6. Data kadar O₂ dari berbagai kecepatan putar dan kondisi

Rpm	O ₂			
	Standard	Standard + Hidrogen	Pilot Jet kecil	Pilot Jet kecil + Hidrogen
2500	19.43333	19.06667	19.66667	19.66667
3500	19.1	19.33333	19.7	19.5
4500	18.96667	19	19.23333	19
5500	18.5	18.7	19.06667	18.8

Lampiran 7. Data kadar HC dari berbagai kecepatan putar dan kondisi

HC (ppm)				
rpm	Standard	Standard + Hidrogen	Pilot Jet kecil	Pilot Jet kecil + Hidrogen
2500	221	86	175.3333	192
3500	87.33333	42.66667	157	274
4500	99.66667	38	218	221.3333
5500	156.3333	44.33333	251	443.3333