



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS PENGGUNAAN GAS HIDROGEN HASIL  
ELEKTROLISIS AIR PADA MOTOR BAKAR 4 LANGKAH  
YANG DIINJEKSIKAN SETELAH KARBURATOR DENGAN  
VARIASI LUBANG MIXER**

**SKRIPSI**

**RESTU INDRA WASKITO**  
**0806319186**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
JUNI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS PENGGUNAAN GAS HIDROGEN HASIL  
ELEKTROLISIS AIR PADA MOTOR BAKAR 4 LANGKAH  
YANG DIINJEKSIKAN SETELAH KARBURATOR DENGAN  
VARIASI LUBANG MIXER**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**RESTU INDRA WASKITO  
0806319186**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
JUNI 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Restu Indra Waskito

NPM : 0806319186

Tanda Tangan : 

Tanggal : 19 Juni 2012



## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Restu Indra Waskito  
NPM : 0806319186  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : **Analisis Penggunaan Gas Hidrogen Hasil Elektrolisis Air Pada Motor Bakar 4 Langkah Yang Diinjeksikan Setelah Karburator Dengan Variasi Lubang Mixer**

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Bambang Sugiarto, M.Eng

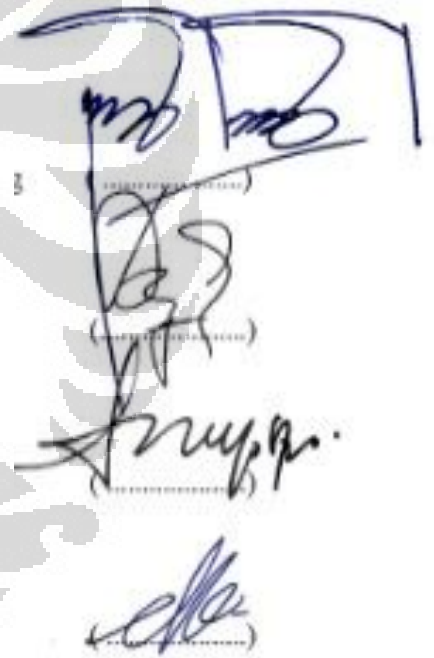
Penguji : Dr. Agus Pamitran, ST, M.Eng

Penguji : Dr. Ir. Adi Surjosatyo, M.Eng

Penguji : Ridho Irwansyah, ST, MT

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juni 2012



Handwritten signatures of the examiners and supervisor, including Prof. Dr. Ir. Bambang Sugiarto, Dr. Agus Pamitran, Dr. Ir. Adi Surjosatyo, and Ridho Irwansyah.

## Kata Pengantar

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia yang telah diberikan sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini sebagai syarat kelulusan untuk menjadi Sarjana Teknik di Departemen Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Tugas akhir ini berisi tentang bagaimana gas hidrogen mampu memberikan dampak positif pada motor bakar 4 langkah. Penghematan penggunaan bahan bakar serta penurunan kadar emisi gas buang menjadi hal yang menjadi fokus utama pada tugas akhir ini.

Tugas akhir ini diharapkan mampu membantu dunia ilmu pengetahuan untuk selalu melakukan inovasi dalam hal teknologi. Kemajuan teknologi harus selalu didorong, terutama dalam hal penemuan energi alternatif sebagai pengganti energi fosil. Semakin tingginya tingkat konsumsi terhadap energi tentunya tidak dapat diimbangi dengan ketersediaan energi fosil yang terus berkurang jumlahnya di alam, sehingga diperlukan penemuan-penemuan energi terbarukan yang mampu menjawab kebutuhan energi di masa yang akan datang.

Banyak hal yang penulis rasakan selama proses pengerjaan tugas akhir ini. Banyak pihak yang telah membantu penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini. Untuk itu penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini. Ucapan terima kasih akan penulis tujukan kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Bambang Sugiarto, M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, waktu, serta pikiran sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini;
2. Drs. Ali Arifin dan Artiningsih selaku orang tua yang selama ini telah mendoakan serta memberikan dukungan, baik materi maupun moral kepada penulis;
3. Dovan Pahalatua, Ahmad Mursyid, Rikko Defriadi, Mas Syarief, dan Arandityo Narutomo yang telah membantu penulis untuk mengerjakan tugas akhir ini;

4. Teman-teman Teknik Mesin Universitas Indonesia angkatan 2008, yang sudah selama 4 tahun ini bersama-sama merasakan senang dan pahitnya menjalani perkuliahan di kampus tercinta;
5. Para dosen Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia yang selama 4 tahun ini menyiram ilmu-ilmu yang pastinya sangat bermanfaat bagi penulis;
6. Pihak-pihak yang selama 4 tahun ini telah berkontribusi dalam kehidupan penulis selama menempuh pendidikan di Universitas Indonesia.

Penulis berharap Allah SWT membalas seluruh kebaikan pihak-pihak yang telah membantu penulis tersebut dengan pahala yang setimpal. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih dan semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kemajuan Indonesia serta kemajuan ilmu pengetahuan.

Depok, 19 Juni 2012

Penulis

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

### TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

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

Nama : Restu Indra Waskito  
NPM : 0806319186  
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 :

**ANALISIS PENGGUNAAN GAS HIDROGEN HASIL ELEKTROLISIS AIR PADA MOTOR BAKAR 4 LANGKAH YANG DIINJEKSIKAN SETELAH KARBURATOR DENGAN VARIASI LUBANG MIXER**

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 memublikasikan 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 : 19 Juni 2012

Yang menyatakan



(RESTU INDRA WASKITO)

## Abstrak

Nama : Restu Indra Waskito  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Analisis Penggunaan Gas Hidrogen Hasil Elektrolisis Air Pada Motor Bakar 4 Langkah Yang Diinjeksikan Setelah Karburator Dengan Variasi Lubang *Mixer*

Elektrolisis adalah suatu proses penguraian senyawa air menjadi gas hidrogen dan gas oksigen. Gas hidrogen hasil elektrolisis air diharapkan mampu memberikan dampak yang positif terhadap kinerja motor bakar 4 langkah. Gas hidrogen hasil elektrolisis air tersebut dapat digunakan untuk bahan bakar tambahan sehingga penggunaan bahan bakar fosil diharapkan dapat dikurangi. Penggunaan gas hidrogen juga diharapkan mampu memperbaiki kualitas pembakaran di dalam ruang bakar yang dampaknya meningkatkan efisiensi bahan bakar dan emisi gas buang yang dihasilkan menjadi lebih baik. Parameter gas buang yang diuji pada reaksi pembakaran dapat dilihat dari kadar karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), hidrokarbon (HC), dan oksigen (O<sub>2</sub>).

**Kata kunci** : Elektrolisis, Gas hidrogen, Efisiensi, Emisi



## Abstract

Name : Restu Indra Waskito  
Study Programme : Mechanical Engineering  
Judul Skripsi : Analysis of hydrogen utilization from electrolysis process in 4 stroke combustion engine which is injected after carburetor with holes of mixer variation

Electrolysis is a process that can break chemical bonding of water into hydrogen and oxygen. Hydrogen, the result of electrolysis process, is expected giving positive impact in 4 stroke combustion engine performance. Hydrogen from electrolysis process can be used as additive fuel so it can reduce fossil fuel utilization. Hydrogen utilization is also expected improving combustion quality in combustion chamber that effect to increase fuel efficiency and exhaust emission is better. Exhaust emission parameters were tested in combustion reaction are carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), hydrocarbon (HC), and oxygen (O<sub>2</sub>).

**Keywords** : Electrolysis, Hydrogen, Efficiency, Emission

## DAFTAR ISI

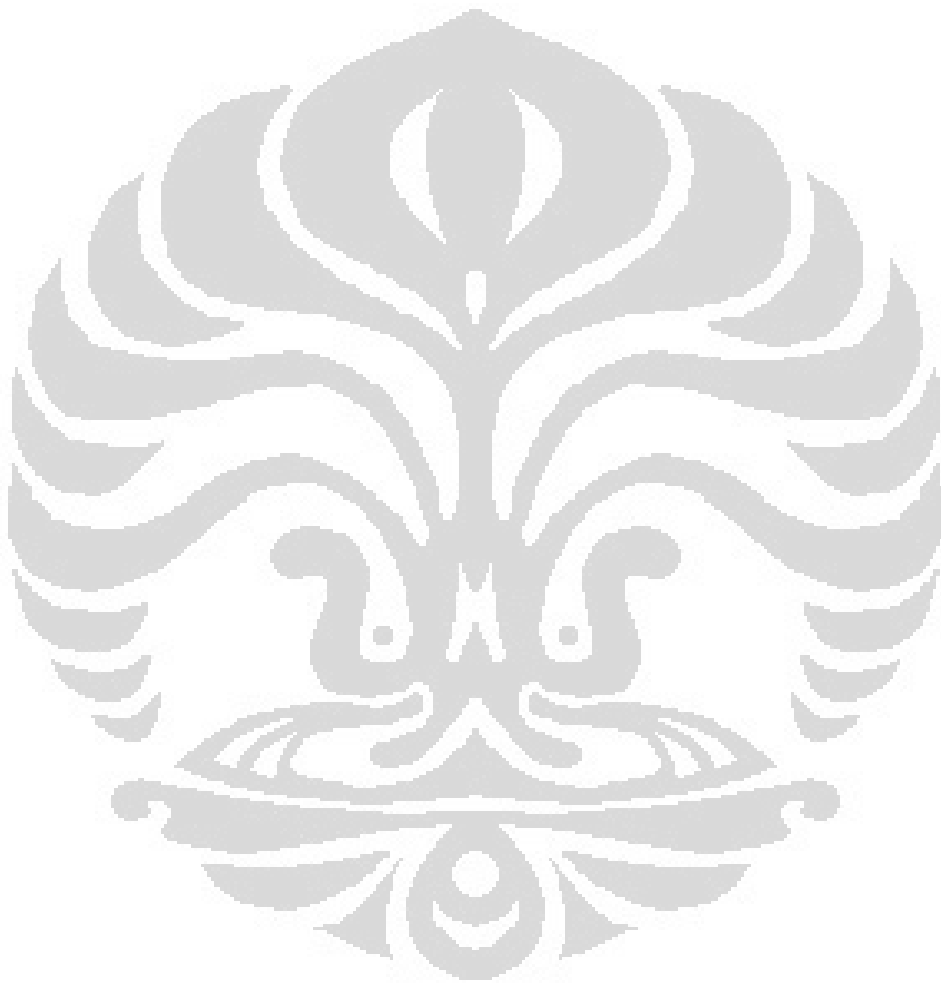
Halaman Pernyataan Orisinilitas.....	iii
Halaman Pengesahan .....	iv
Kata Pengantar .....	v
Halaman Pernyataan Persetujuan Publikasi.....	vii
Abstrak.....	viii
Abstract.....	ix
Daftar Isi.....	x
Daftar Gambar.....	xii
Daftar Tabel.....	xiii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Metodologi Penelitian .....	4
<b>BAB 2 LANDASAN TEORI</b> .....	<b>6</b>
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 Elektrolisis.....	13
2.5 Terbentuknya Polutan Pada Aliran Gas Buang.....	14
2.5.1 Karbon Monoksida (CO).....	14
2.5.2 Hidro Karbon (HC).....	15
2.5.3 Nitrogen Oksida (NO <sub>x</sub> ).....	15
2.5.4 Udara Berlebih ( <i>Excess Air</i> ).....	16
2.6 Elektrolisis Air.....	17
2.6.1 Pelepasan dan Penangkapan Elektron.....	17

2.7 Karakteristik Air.....	18
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 Dioda.....	29
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN.....</b>	<b>31</b>
3.1 Penelitian.....	31
3.2 Alat Uji.....	31
3.3 Skematik Pengujian.....	36
3.3.1 Pengukuran Laju Gas Hidrogen.....	36
3.4 Prosedur Pengujian dan Pengambilan Data.....	37
3.4.1 Prosedur Pengujian Konsumsi Bahan Bakar Dengan Uji Jalan.....	37
3.4.2 Prosedur Pengujian Emisi Kendaraan Hasil Pembakaran.....	39
<b>BAB 4 PENGOLAHAN DATA DAN ANALISIS.....</b>	<b>41</b>
4.1 Laju Produksi Gas Hidrogen.....	43
4.2 Perhitungan Keseimbangan Energi.....	44
4.3 Hasil Pengujian dan Efisiensi Bahan Bakar.....	45
4.4 Analisis Emisi Gas Buang.....	50
4.4.1 Analisis Kandungan CO Pada Gas Buang.....	50
4.4.2 Analisis Kandungan CO <sub>2</sub> Pada Gas Buang.....	51
4.4.3 Analisis Kandungan O <sub>2</sub> Pada Gas Buang.....	52
4.4.4 Analisis kandungan HC Pada Gas Buang.....	54
<b>BAB 5 PENUTUP.....</b>	<b>56</b>
5.1 Kesimpulan.....	56

5.2 Saran ..... 57

DAFTAR REFERENSI

LAMPIRAN



## DAFTAR GAMBAR

GAMBAR 1.1 GRAFIK PENINGKATAN KONSENTRASI KARBON DIOKSIDA DI ATMOSFER.	1
GAMBAR 1.2 SIKLUS H <sub>2</sub> O.	2
GAMBAR 1.3 BAHAN BAKAR HIDROGEN MEMENUHI TIGA KOMPONEN.	3
GAMBAR 2.1 NIKOLAUS OTTO ....	6
GAMBAR 2.2 PROSES KERJA MOTOR OTTO EMPAT LANGKAH...	8
GAMBAR 2.3 DIAGRAM P-V DAN T-S IDEAL MOTOR OTTO EMPAT LANGKAH ...	9
GAMBAR 2.4 IKATAN KIMIA AIR.	19
GAMBAR 2.5 SIFAT KEMAMPUAN BAKAR BERBAGAI JENIS BAHAN BAKAR.	22
GAMBAR 2.6 KINERJA KARBURATOR, (A) IDLE, (B) THROTTLE TERBUKA LEBAR.	26
GAMBAR 2.7 CARA KERJA VENTURI TINGGI FLUIDA MENURUNKAN TEKANAN	27
GAMBAR 2.8 SKEMA SEDERHANA KARBURATOR....	27
GAMBAR 2.9 LAMBANG DIODA	29
GAMBAR 2.10 KAKI DIODA	30
GAMBAR 2.11 DIODA BRIDGE	30
GAMBAR 3.1 SEPEDA MOTOR HONDA SUPRA FIT 100 CC	32
GAMBAR 3.2 UNIT TABUNG REAKTOR...	32
GAMBAR 3.3 ALAT UJI FLOWMETER GAS...	33
GAMBAR 3.4 TECHNOTEST 488 PLUS GAS ANALYZER	34
GAMBAR 3.5 TACHOMETER	35
GAMBAR 3.6 DUDUKAN TABUNG REAKTOR.	35
GAMBAR 3.7 MIXER 2 DAN 4 LUBANG BESERTA RUMAHANNYA	36
GAMBAR 3.8 SKEMA ALAT UJI TANPA GAS HIDROGEN	36
GAMBAR 4.1 DESAIN MIXER 2 LUBANG	41
GAMBAR 4.2 DESAIN MIXER 4 LUBANG	41
GAMBAR 4.3 HASIL SIMULASI DESAIN MIXER 2 LUBANG.	42
GAMBAR 4.4 HASIL SIMULASI DESAIN MIXER 4 LUBANG.	42
GAMBAR 4.5 DIAGRAM LAJU PRODUKSI GAS HIDROGEN.	43
GAMBAR 4.6 GRAFIK PERBANDINGAN KONSUMSI BAHAN BAKAR	46
GAMBAR 4.7 DIAGRAM PENGHEMATAN BAHAN BAKAR	48
GAMBAR 4.8 DIAGRAM EFISIENSI PENGHEMATAN KONSUMSI BAHAN BAKAR.	49
GAMBAR 4.9 GRAFIK KANDUNGAN CO	50
GAMBAR 4.10 GRAFIK KANDUNGAN CO <sub>2</sub>	52
GAMBAR 4.11 GRAFIK KANDUNGAN O <sub>2</sub>	53
GAMBAR 4.12 GRAFIK KANDUNGAN HC	54

## DAFTAR TABEL

TABEL 2.1 SIFAT-SIFAT AIR.....	18
TABEL 2.2 SIFAT KIMIA DAN FISIKA HIDROGEN.....	20
TABEL 2.3 NILAI OKTAN BERBAGAI BAHAN BAKAR.....	21
TABEL 2.4 SIFAT KIMIA DAN FISIKA OKSIGEN.....	22
TABEL 4.1 TABEL LAJU PRODUKSI H <sub>2</sub> .....	43
TABEL 4.2 TABEL EFISIENSI BAHAN BAKAR UJI JALAN.....	46
TABEL 4.3 TABEL PERBANDINGAN PENGHEMATAN BAHAN BAKAR (ML).....	48
TABEL 4.4 TABEL PERSENTASE PENGHEMATAN BAHAN BAKAR.....	50
TABEL 4.5 PERBANDINGAN KADAR CO.....	51
TABEL 4.6 PERBANDINGAN KADAR CO <sub>2</sub> .....	52
TABEL 4.7 PERBANDINGAN KADAR O <sub>2</sub> .....	53
TABEL 4.7 PERBANDINGAN KADAR HC.....	54

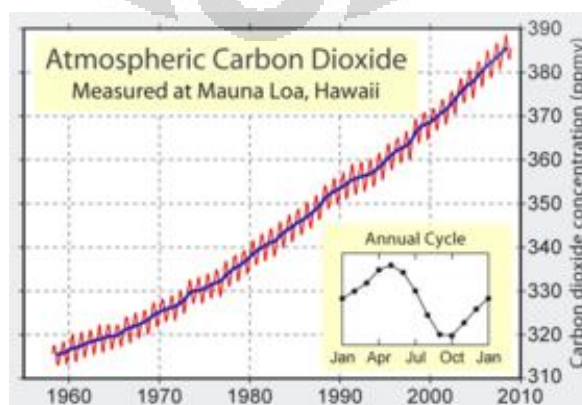
# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

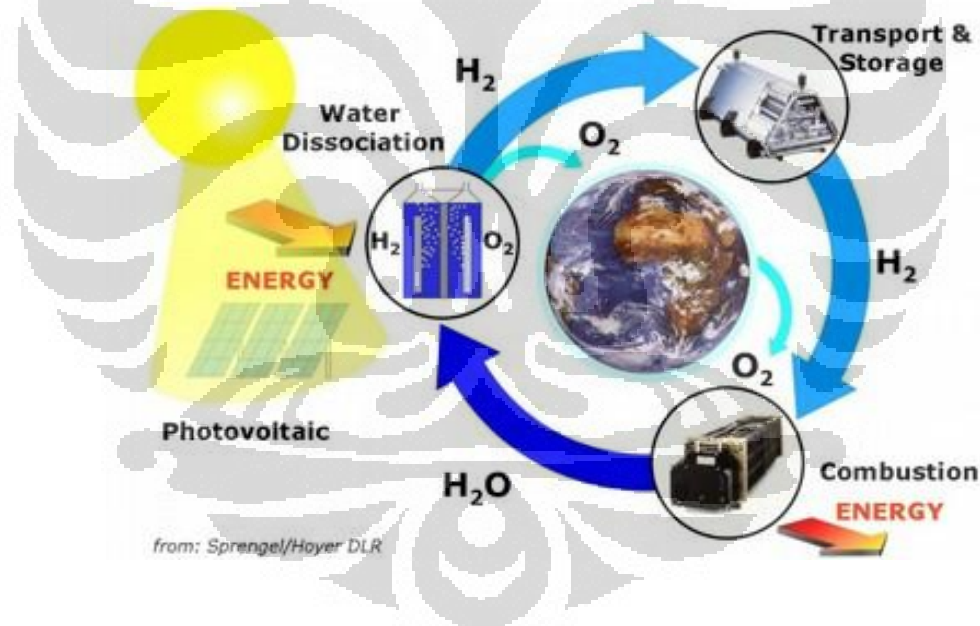
Energi merupakan kebutuhan manusia dalam menjalankan aktivitas kehidupan. Namun tidak semua kebutuhan energi dapat diperbarui kembali, suatu saat akan ada batasnya. Eksploitasi sumber daya alam terutama minyak bumi yang berlebihan telah memberikan ancaman terhadap lingkungan dan keselamatan manusia itu sendiri. Hal lain yang juga dikhawatirkan banyak orang adalah jumlah cadangan minyak bumi dari hari ke hari semakin berkurang dan terancam habis. Karena itu perlu upaya untuk mencari alternatif guna menghemat cadangan minyak bumi yang ada pada saat ini. Perubahan iklim global, penipisan lapisan ozon, dan polusi adalah masalah-masalah yang perlu mendapat perhatian bersama. Pertambahan kadar CO<sub>2</sub> yang sangat tinggi dari masa ke masa adalah salah satu penyebab terjadinya perubahan tersebut, pembakaran kayu dan pemakaian energi fosil yang terus meningkat merupakan faktor utama dari eskalasi kadar gas karbon dioksida di udara. Kondisi seperti itu diperparah oleh penggundulan hutan tropis yang dijuluki sebagai paru-paru dunia, akibatnya polusi semakin meningkat dari waktu ke waktu.

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 peningkatan konsentrasi karbon dioksida di atmosfer

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. Tetapi nampaknya baru sedikit bahasan akademis yang telah memaparkan fakta-fakta otentik dan bukti secara ilmu pengetahuan di balik penemuan BBA. Hal tersebut menuai kontroversi apakah benar air dapat dijadikan bahan bakar yang dapat diandalkan. Sehingga langkah-langkah untuk membuktikan hal tersebut menjadi sangat menarik.

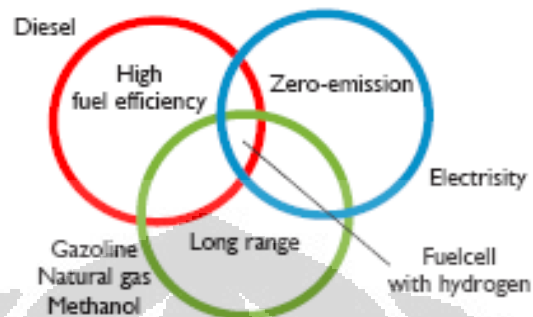


Gambar 1.2 Siklus H<sub>2</sub>O.

Air di dunia ini tersedia dalam jumlah yang melimpah ruah, diketahui bahwa air menutupi 71 % belahan bumi. Air pun telah banyak membantu manusia dalam penyediaan kebutuhan energi seperti pada PLTA di mana 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 (H<sub>2</sub>O) yang nantinya akan dijadikan sebagai bahan bakar untuk mengurangi ketergantungan kita terhadap bahan bakar minyak.



Gambar 1.3 Bahan Bakar Hidrogen Memenuhi Tiga Komponen Vital .

## 1.2 Permasalahan

Menggunakan hidrogen sebagai campuran bersama bahan bakar bensin. dengan menggunakan mixer 2 dan 4 lubang yang bertujuan untuk mencampurkan bahan bakar dengan hidrogen. Keadaan ini diharapkan mampu membuat pembakaran lebih sempurna dan tenaga kendaraan bertambah karena gas hasil elektrolisis mempunyai sifat yang mudah terbakar. Sehingga hal ini mampu diharapkan menjadi aplikasi dengan hydrogen yang membuat konsumsi bbm yang lebih irit lagi daripada sbelumnya.

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari penulisan ini adalah:

- Membuktikan bahwa gas hasil elektrolisis air dapat digunakan sebagai bahan bakar yang dapat mempengaruhi pembakaran di ruang bakar.
- Mengaplikasikan langsung penggunaan gas hasil elektrolisis air dalam kondisi nyata, yaitu dengan melakukan uji jalan kendaraan.
- Membandingkan dan mengetahui jumlah penghematan yang dapat diperoleh pada kendaraan bermotor dengan diberi gas elektrolisis air dengan uji jalan.
- Membandingkan dan mengetahui perubahan komposisi gas buang pada kendaraan bermotor setelah penambahan gas hasil elektrolisis air.

- Mengetahui perubahan komposisi gas buang pada kendaraan bermotor dengan mixer yang berlubang 2 dan 4, setelah penambahan gas hasil elektrolisis air dan membandingkan dengan aplikasi penggunaan hydrogen sebelumnya

#### **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 elektrolisis air pada penggunaan bahan bakar untuk mengetahui tingkat konsumsi, prestasi mesin, dan kualitas emisi yang dihasilkan.
- Parameter-parameter yang diamati saat penelitian hanyalah pada konsumsi bahan bakar, serta kandungan emisi gas buang (HC, O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>).
- Pada penelitian ini hanya mengkaji jumlah gas H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> secara total yang dihasilkan oleh elektrolisis air, bukan secara parsial.
- Reaktor elektrolisis menggunakan 8 pelat elektroda; 4 positif dan 4 negatif
- Mixer mempunyai jumlah 2 dan 4 lubang untuk mencampurkan hidrogen sebelum masuk ke ruang bakar.
- Sumber energi untuk menghasilkan gas hasil elektrolisis menggunakan kelistrikan sepeda motor yaitu *alternator*.

#### **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 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 dasar teori elektrolisis air, dasar teori motor bakar, teori kapasitor, dan teori diode.

##### BAB III, METODE PENELITIAN

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

##### BAB IV, HASIL DAN ANALISIS

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

##### BAB V, PENUTUP

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

## BAB II

### LANDASAN 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.



Gambar 2.1 Nikolaus Otto

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

## 2.2 Siklus Kerja Motor Otto

Komponen-komponen utama dari sebuah motor Otto adalah:

1. Katup Masuk (*intake valve*)

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

2. Katup Buang (*exhaust valve*)

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

3. Torak

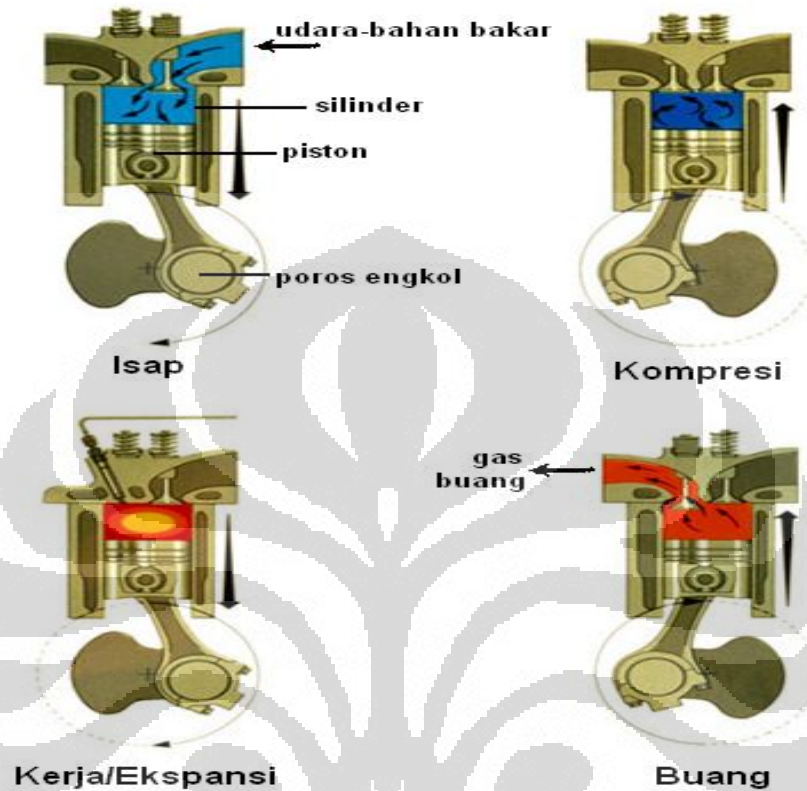
Torak adalah komponen berbentuk silinder yang bergerak naik turun di dalam silinder, dan berfungsi untuk mengubah tekanan di dalam ruang bakar menjadi gerak rotasi poros engkol.

4. Busi

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

Pada mesin 4 langkah, torak bergerak bolak-balik dalam silinder dari Titik Mati 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 isap, kompresi, kerja, dan buang.

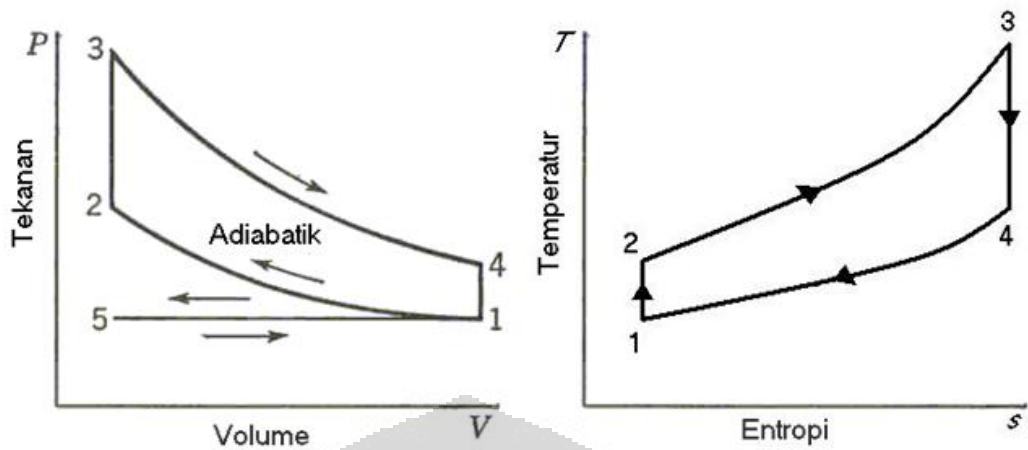


Gambar 2.2 Proses Kerja Motor Otto Empat Langkah

Sumber: [www.bankspowder.com](http://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 2.3 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 kemudian 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 di atas 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 di antaranya 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 ( $\dot{m}_f$ )

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

Keterangan:

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

$BFC$  = konsumsi bahan bakar (L/jam)

$\rho_f$  = massa jenis bahan bakar (kg/m<sup>3</sup>)

### 3. Laju Aliran Massa Udara ( $\dot{m}_a$ )

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

Keterangan :

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

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

$BFC$  = konsumsi bahan bakar (L/jam)

$\rho_f$  = massa jenis bahan bakar (kg/m<sup>3</sup>), dalam hal ini adalah bensin = 754,2 kg/m<sup>3</sup>

### 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)

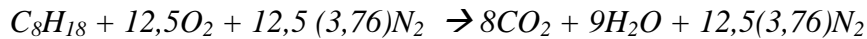
$BFC$  = konsumsi bahan bakar (l/h)

$BHP$  = daya keluaran mesin (hp)

$\rho_f$  = massa jenis bahan bakar (kg/m<sup>3</sup>)

## 2.4 Pembakaran dan Emisi pada Motor Otto

Bahan bakar yang digunakan pada Motor Pembakaran Dalam – jenis *Otto* biasanya sejenis *Hidro Carbon* (HC). Dengan menganggap bahwa bahan bakar yang digunakan adalah *isooctane* maka reaksi pembakaran yang terjadi sebagai berikut :



Nilai 3,76 didapat dari perbandingan %vol N<sub>2</sub> dengan %vol O<sub>2</sub> pada udara bebas yaitu 79% / 21% = 3,76 dengan menganggap gas lainnya seperti argon, CO<sub>2</sub> dan lainnya sangat kecil.

Reaksi pembakaran tersebut terjadi di dalam ruang bakar pada tekanan dan suhu yang tinggi. Motor pembakaran dalam yang baik mempunyai komposisi gas buang berupa CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub> seperti reaksi di atas, 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 di atas terjadi sempurna maka perbandingannya :

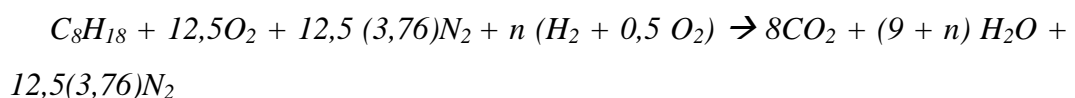
Massa bahan bakar (m<sub>f</sub>) adalah 1 kmol (114 kg/kmol) = 114 kg. Massa udara (m<sub>a</sub>) adalah 12,5 ( 4,76) kmol (29 kg/kmol) = 1725,5 kg , sehingga AFR untuk reaksi tersebut

$$AFR = m_a / m_f = 1725,5 / 114 = 15,13.$$

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

#### **2.4.1 Pembakaran Dengan Penambahan Gas Elektrolisis**

Dalam percobaan yang dilakukan dengan penambahan gas elektrolisis air, bahan bakar yang masuk ke ruang bakar bukan hanya bensin saja melainkan bensin dan gas elektrolisis air ( H<sub>2</sub> + 0,5 O<sub>2</sub>) dan dengan asumsi bahwa jumlah gas H<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> yang di hasilkan reaktor elektrolisis air adalah proporsional, maka stoikiometri pembakaran yang terjadi adalah:



Dengan menambah sejumlah n H<sub>2</sub> + 0,5 O<sub>2</sub> , di mana nilai n adalah jumlah mol gas elektrolisis yang masuk ke ruang bakar. Penambahan gas elektrolisis ini

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

## 2.5 Terbentuknya Polutan pada Aliran Gas Buang

Bahan pencemar (polutan) yang berasal dari kendaraan bermotor dibedakan menjadi polutan primer atau sekunder. Polutan primer seperti karbon monoksida (CO), sulfur oksida (SO<sub>x</sub>), nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) dan hidrokarbon (HC) langsung dibuang ke udara bebas dan mempertahankan bentuknya seperti pada saat pembuangan. Polutan sekunder seperti ozon (O<sub>3</sub>) 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 di dalam gas buang pada saat proses penguraian dan hanya ada pada knalpot kendaraan. CO merupakan produk dari pembakaran yang tidak tuntas yang disebabkan karena tidak seimbangnya jumlah udara pada rasio udara-bahan bakar (AFR) atau waktu penyelesaian pembakaran yang tidak tepat. Pada campuran kaya, konsentrasi CO akan meningkat dikarenakan pembakaran yang tidak sempurna untuk menghasilkan CO<sub>2</sub>. 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 di mana terjadi penutupan *throttle* yang menyebabkan berkurangnya suplai oksigen ke mesin akan mengakibatkan tingginya kadar CO yang dihasilkan.

### 2.5.2 Hidro Karbon (HC)

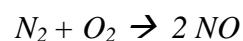
Emisi hidro karbon yang tidak terbakar merupakan hal berkaitan langsung dengan pembakaran yang tidak sempurna. Bentuk emisi hidro karbon dipengaruhi oleh banyak variabel desain dan operasi. Salah satunya dapat disebabkan karena penyalaan yang tidak stabil (*misfire*). Oksidasi dari hidro karbon merupakan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

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

### 2.5.3 Nitrogen Oksida (NOx)

Bahan pencemar (polutan) yang berasal dari kendaraan bermotor dibedakan menjadi polutan primer atau sekunder. Polutan primer seperti sulfur oksida (SO<sub>x</sub>), nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) dan hidro karbon (HC) langsung dibuang ke udara bebas dan mempertahankan bentuknya seperti pada saat pembuangan. Polutan sekunder seperti ozon (O<sub>3</sub>) dan peroksi asetil nitrat (PAN) adalah polutan yang terbentuk di atmosfer melalui reaksi fotokimia, hidrolisis atau oksidasi.

Komponen utama dari NO<sub>x</sub> adalah nitrogen oksida (NO) yang dapat dikonversikan lagi menjadi nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) dan nitrogen tetraoksida (N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>). Oksida-oksida nitrogen (NO<sub>x</sub>) 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 N<sub>2</sub> bereaksi dengan O<sub>2</sub>. Jika terdapat N<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> pada temperatur lebih dari 1800 °C, akan terjadi reaksi pembentukan gas NO sebagai berikut:



Di udara, NO mudah berubah menjadi NO<sub>2</sub>. Komposisi NO<sub>x</sub> di dalam gas buang terdiri dari 95 % NO, 3 - 4 % NO<sub>2</sub>, dan sisanya adalah N<sub>2</sub>O serta N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

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 NO<sub>2</sub> dapat menimbulkan iritasi terhadap paru-paru.

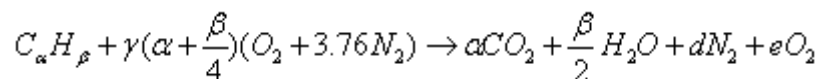
#### 2.5.4 Udara Berlebih (*Excess Air*)

Perhitungan-perhitungan pembakaran harus terkait dengan persyaratan perlengkapan pembakaran aktual di mana perlengkapan tersebut masih layak 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.

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

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

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  $\gamma$  adalah  $(100 + 5) \% = 1,05$

## 2.6 Elektrolis Air

Elektrolisis air adalah proses pemecahan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) menjadi oksigen ( $\text{O}_2$ ) dan gas hidrogen ( $\text{H}_2$ ) 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 pelat, (biasanya dari bahan logam seperti platinum atau *stainless steel*) yang ditempatkan di dalam air. Hidrogen akan timbul pada katoda (elektroda negatif, di mana 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.

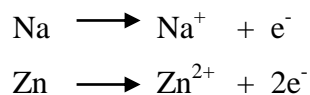
### 2.6.1 Pelepasan dan Penangkapan Elektron

Pada peristiwa oksidasi Fe menjadi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , atom Fe melepaskan elektron menjadi ion  $\text{Fe}^{3+}$ . Jadi pengertian oksidasi dapat diperluas menjadi pelepasan elektron. Sebaliknya pada peristiwa reduksi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  menjadi Fe, ion  $\text{Fe}^{3+}$  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.

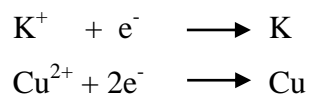
Oksidasi adalah reaksi pelepasan elektron.

Contoh reaksi oksidasi :



Reduksi adalah reaksi penerimaan atau penangkapan elektron.

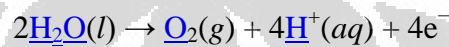
Contoh reaksi reduksi :



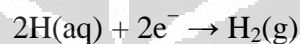
Pada reaksi oksidasi, elektron berada di ruas kanan

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 di atas 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 :  $\text{H}_2\text{O}$  teroksidasi menjadi  $\text{O}_2$  dan  $4\text{H}^+$  tereduksi menjadi  $2\text{H}_2$ . 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 di atas :  $\text{H}_2\text{O}$  merupakan reduktor, sedangkan  $4\text{H}^+$  merupakan oksidator.

Reduktor = Zat yang mengalami oksidasi

Oksidator = Zat yang mengalami reduksi

## 2.7 Karakteristik Air

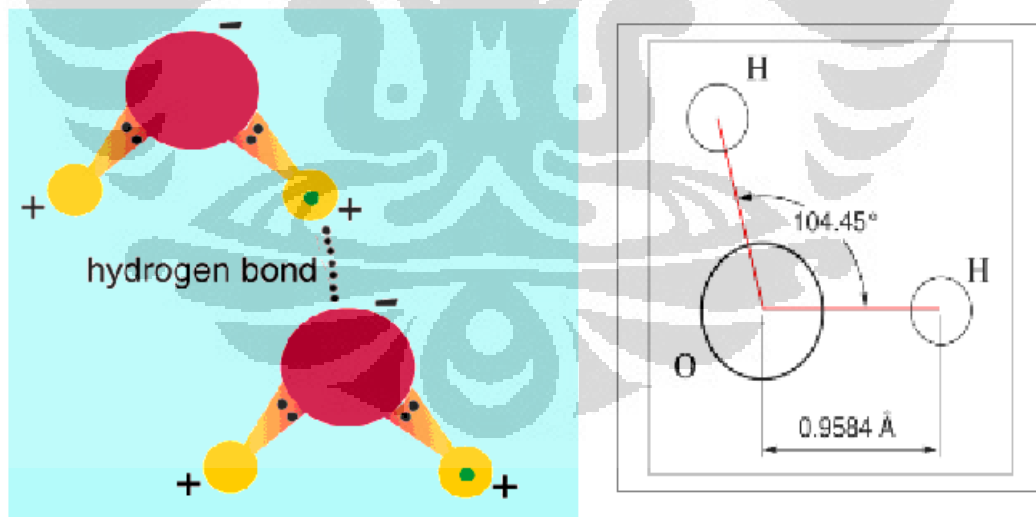
Air adalah substansi kimia dengan rumus kimia  $\text{H}_2\text{O}$ . Satu molekul air tersusun atas dua atom hidrogen yang terikat secara kovalen pada satu atom



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	<i>Aqua, dihidrogen monoksida, hidrogen hidroksida</i>
Rumus molekul	H <sub>2</sub> O
Masa molar	18.0153 g/mol
Densitas dan fase	0.998 g/cm <sup>3</sup> (cairan pada 20 °C) 0.92 g/cm <sup>3</sup> (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 2.4 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</u> <u>Massa jenis</u>	<u>gas</u>
<u>Massa jenis</u>	(0°C;101,325kPa) 0,08988 g/L

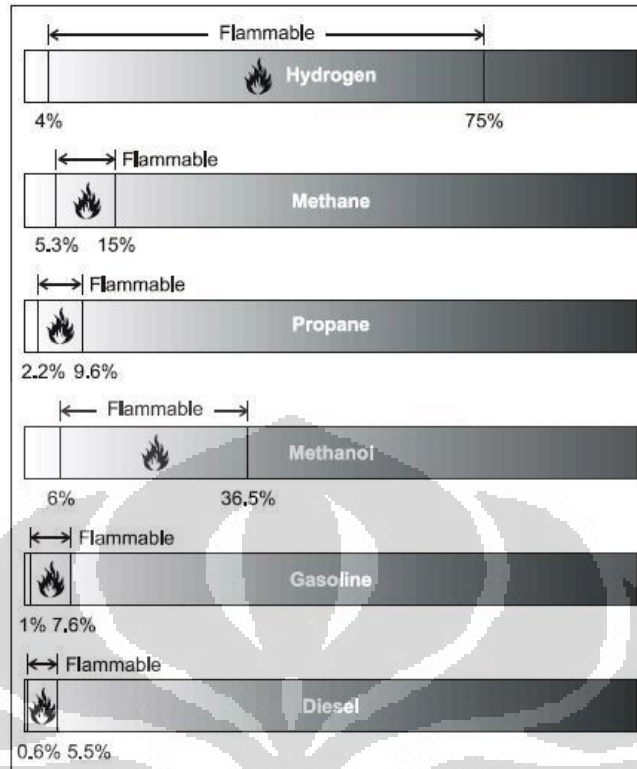
<u>Titik lebur</u>	14,01 <b>K</b> (-259,14 <b>°C</b> , -434,45 <b>°F</b> )
<u>Titik didih</u>	20,28 <b>K</b> (-252,87 <b>°C</b> , -423,17 <b>°F</b> )
<u>Kalor peleburan</u>	(H <sub>2</sub> ) 0,117 kJ/mol
<u>Kapasitas kalor</u>	(25 °C) (H <sub>2</sub> ) 28,836 J/(mol·K)
<u>Suhu kritis</u>	32,19 K
<u>Tekanan 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 :

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

Tabel 2.3 Nilai Oktan Berbagai Bahan Bakar

*Sumber: [www.ingenuitycreations.com](http://www.ingenuitycreations.com)*



Gambar 2.5 Sifat Kemampuan Bakar Berbagai Jenis Bahan Bakar

Sumber: [www.ingenuitycreations.com](http://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 Massa jenis</u>	gas
<u>Massa jenis</u>	(0 °C; 101,325 kPa) 1,429 g/L
<u>Titik lebur</u>	54,36 K (-218,79 °C, -361,82 °F)
<u>Titik didih</u>	90,20 K (-182,95 °C, -297,31 °F)
<u>Kalor peleburan</u>	(O <sub>2</sub> ) 0,444 kJ/mol
<u>Kapasitas kalor</u>	(25 °C) (O <sub>2</sub> ) 29,378 J/(mol·K)
<u>Suhu kritis</u>	(O <sub>2</sub> ) 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

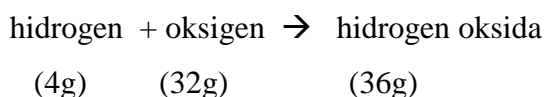
$E_p$  = energi potensial

$E_k$  = 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 (atm)

V = volume gas (L)

n = mol gas

R = tetapan gas universal = 0.082 L.atm/mol K

T = suhu mutlak (K)

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

○ *Hukum Boyle*

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

○ *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 :  $V_1 / V_2 = n_1 / n_2$ .

○ *Hukum Boyle –Gay Lussac*

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

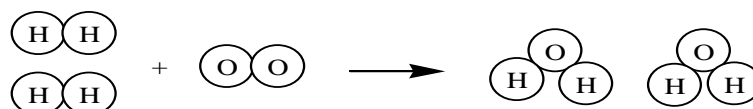
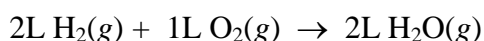
$$P_1 \cdot V_1 / T_1 = P_2 \cdot V_2 / T_2 \dots\dots\dots(2.8)$$

○ *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<sub>2</sub>O



2 molekul H<sub>2</sub>

1 molekul O<sub>2</sub>

2 molekul H<sub>2</sub>O

○ *Hukum Faraday elektrolisis air*

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

Rumus:

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

$$F = 96.500$$

$$q = i \cdot t$$

m = massa zat yang dihasilkan (gram)

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

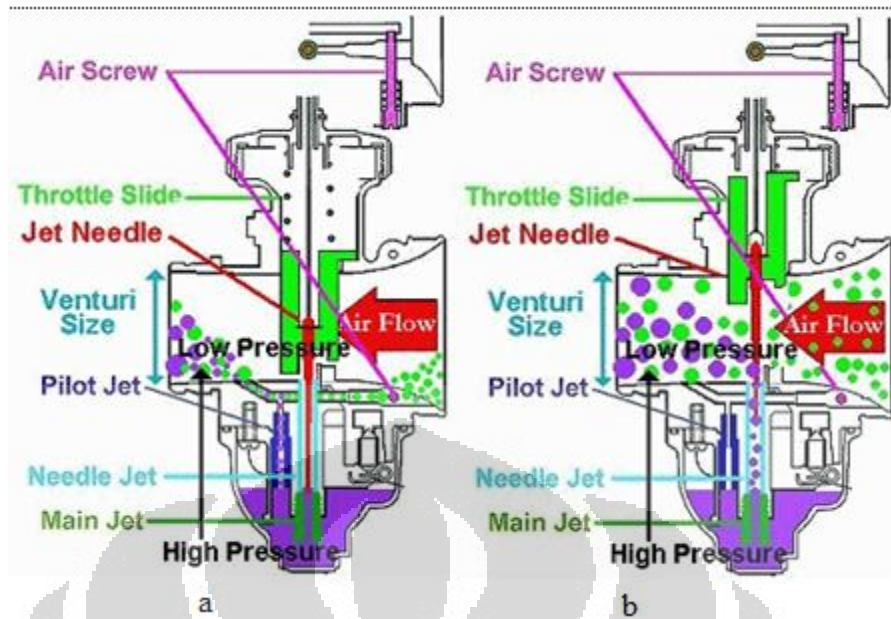
i = kuat arus listrik (amper)

t = waktu (detik)

q = muatan listrik (coulomb)

**2.9 Prinsip Kerja Karburator**

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

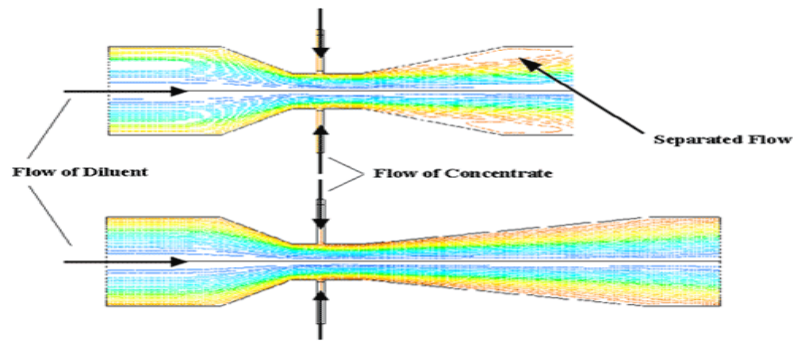


Gambar 2.6 Kinerja Karburator, (A) Idle, (B) Throttle Terbuka Lebar

Sumber: [berita-iptek.blogspot.com/feeds/posts/default](http://berita-iptek.blogspot.com/feeds/posts/default)

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

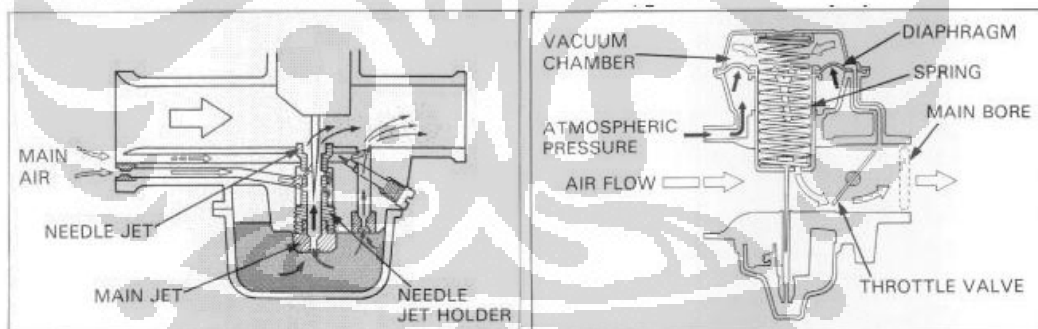




Gambar 2.7 Cara Kerja Venturi, Kecepatan Tinggi Fluida Menurunkan Tekanan Statisnya.

Sumber: [www.processinnovation.com/venturi.htm](http://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 perendaman oli. Sistem ini efektif jika tidak ada kertas saringan udara.



Gambar 2.8 Skema Sederhana Karburator

Sumber: [www.e-dukasi.net](http://www.e-dukasi.net)

Berikut adalah komponen-komponen utama dari karburator:

a. *Air screw*

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

b. *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 dikabutkan hingga bercampur dengan udara dan dialirkan ke *intake manifold*.

c. *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.

d. 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*.

e. *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

f. *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.

g. *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*.

h. *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*.

i. Ruang venturi

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

## 2.10 Dioda

Dioda adalah komponen elektronika yang hanya memperbolehkan arus listrik mengalir dalam satu arah sehingga dioda biasa disebut juga sebagai “penyearah”. Dioda terbuat dari bahan semikonduktor jenis *silicon* dan *germanium*. Simbol dioda dalam rangkaian elektronika diperlihatkan pada gambar berikut.



Gambar 2.9 Lambang Dioda

Dioda terbuat dari penggabungan dua tipe semikonduktor yaitu tipe P (*Positive*) dan tipe N (*Negative*), kaki dioda yang terhubung pada semikonduktor tipe P dinamakan “*Anode*” sedangkan yang terhubung pada semikonduktor tipe N disebut “*Katode*”.

Pada bentuk aslinya pada dioda terdapat tanda cincin yang melingkar pada salah satu sisinya, ini digunakan untuk menandakan bahwa pada sisi yang terdapat cincin tersebut merupakan kaki *Katode*.



Gambar 2.10 Kaki Dioda

Arus listrik akan sangat mudah mengalir dari anoda ke katoda hal ini disebut sebagai “*Forward-Bias*” tetapi jika sebaliknya yakni dari katoda ke anoda, arus listrik akan tertahan atau tersumbat hal ini dinamakan sebagai “*Reverse-Bias*”. Tegangan yang melewati dioda dalam keadaan *forward-bias* akan turun sebesar 0,7V pada *Silicon*, 0,3V pada *Germanium*.

### Jenis–Jenis Dioda

- Diode Bridge

Disebut dioda *bridge* karena didalam komponen ini terdapat empat buah dioda yang dihubungkan saling bertemu satu sama lain (*bridge rectifier*/penyearah jembatan).



Gambar 2.11 Dioda *Bridge*

Dioda *bridge* merupakan penyearah arus bolak-balik satu gelombang penuh, jadi akan dihasilkan tegangan DC (searah) yang lebih baik, yang cenderung memiliki noise rendah. Saat ini, dioda bridge banyak digunakan pada perangkat-perangkat elektronika modern, karena memang memiliki kinerja yang baik.

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Penelitian

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

1. Memilih subjek penelitian
2. Melakukan studi literatur
3. Melakukan pembuatan sistem penyaluran gas
4. Melakukan instalasi alat uji
5. Melakukan eksperimen pengujian

Pengujian dilakukan dalam 2 kategori :

1. Membandingkan konsumsi bahan bakar dengan menggunakan dan tanpa menggunakan gas hydrogen disertai penggunaan dengan berbagai macam *mixer* berbeda jumlah lubang yang dipasang di antara *intake manifold* dan karburator melalui uji jalan.
2. Membandingkan emisi yang dihasilkan dengan menggunakan dan tanpa menggunakan gas hydrogen disertai penggunaan dengan berbagai macam *mixer* berbeda jumlah lubang yang dipasang di antara *intake manifold* dan karburator
6. Mengumpulkan dan mengolah data-data yang diperoleh serta mengevaluasinya
7. Mempresentasikan hasil penelitian dalam bentuk grafik-grafik dan kemudian melakukan analisis

#### 3.2. Alat Uji

Peralatan uji yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Sepeda motor Honda Supra Fit 100 cc dengan spesifikasi:

Dimensi

Panjang : 1.910 mm

Lebar : 715 mm

Tinggi : 1.674 mm

Kapasitas

Jarak sumbu roda : 1.222 mm

Oli mesin : 0,7 liter

Tangki bahan bakar : 3,7 liter

Mesin

Diameter x langkah : 50 x 49,5 mm

Perbandingan kompresi : 8,8 : 1

Volume langkah : 97,1cm<sup>3</sup>

Transmisi

4 Kecepatan bertaut tetap, system rotari



Gambar 3.1 Sepeda Motor Honda Supra Fit 100 cc

## 2. Tabung reaksi elektrolisis

Tabung reaksi elektrolisis air merupakan tempat terjadinya peristiwa elektrolisis air. Tabung ini memiliki kapasitas isi 0,5 liter air. Di dalam tabung reaksi ini terdapat 8 pelat elektroda berukuran 5 x 5.5 cm, 4 positif dan 4 negatif, yang disusun paralel saling bergantian



Gambar 3.2 Unit Tabung Reaktor

Tabung elektrolisis tersebut diisi air sebanyak 0.5 liter kemudian dicampur dengan elektrolit KOH sebanyak 10 gram, setelah itu ditutup hingga rapat.

### 3. Alat uji Flow Meter Gas



Gambar 3.3 Alat Uji Flow Meter Gas

Merek : Dwyer  
Ketelitian : 240 cc/menit

### 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<sub>2</sub> : 0 – 19,99 % Vol res 0,1

- HC	: 0 – 9999	ppm vol res 1
- O <sub>2</sub>	: 0 – 4	% Vol res 0,01
	: 4 – 25,0	% Vol res 0,1
- NOx	: 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, 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 ( $\lambda$ ). 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, CO<sub>2</sub>, 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  $H_2$ ,  $N_2$ , dan  $O_2$  (memiliki nomor atom yang sama) akan membentuk komposisi molekul dan tidak menyerap sinar infra merah. Oleh karena itu pengukuran ketiga komponen tersebut melalui sensor kimia.

5. Timbangan digital AND FX 4000

6. Gelas ukur 25 ml, ketelitian 0,5 ml

7. *Tachometer* Digital



Gambar 3.5 *Tachometer*

8. Dudukan/tempat tabung reaktor



Gambar 3.6 Dudukan/Tempat Tabung Reaktor

9. *Multitester*

10. Dioda *bridge* 12 V

11. *Mixer* 2 dan 4 lubang



Gambar 3.7 Mixer 2 dan 4 lubang beserta rumahannya

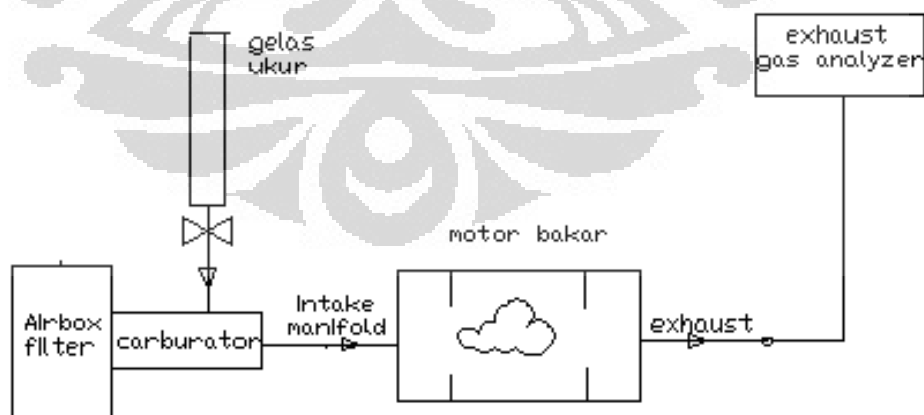
### 3.3 SKEMATIK PENGUJIAN

Metode pengujian dilakukan ke dalam 2 kategori :

1. Pengujian konsumsi bahan bakar dengan melakukan uji jalan kendaraan
2. Pengujian emisi hasil pembakaran

Tahap-tahap pengujian yang dilakukan :

1. Menguji kendaraan dalam kondisi standar tanpa menggunakan *mixer* dengan bahan bakar premium tanpa menggunakan hidrogen.
2. Menguji kendaraan dengan menggunakan *mixer* 2 lubang dengan menggunakan bahan bakar premium dan penambahan hidrogen.
3. Menguji kendaraan dengan menggunakan *mixer* 4 lubang dengan menggunakan bahan bakar premium dan penambahan hidrogen.



Gambar3.8 Skema Alat Uji Tanpa Gas Hidrogen

#### **3.3.1 Prosedur Pengukuran Laju Produksi Gas Hidrogen**

1. Pasang seluruh alat-alat pengukuran sesuai skematik gambar 3.17

2. Menyalakan sumber tegangan dan arus listrik yang berasal dari stator sepeda motor dengan menyalakan sepeda motor.
3. Menghubungkan tabung reaktor dengan sumber tegangan (*dioda*). Pada dioda ini telah dihubungkan dengan sumber positif dari stator yang akan terhubung ke regulator dan sumber negatif dari rangka motor (*Ground*). Sumber tegangan untuk tabung reaktor adalah tegangan searah (*DC*) , jadi tegangan bolak-balik (*AC*) yang berasal dari stator sepeda motor telah diubah oleh dioda menjadi tegangan searah (*DC*).
4. Mengukur seberapa banyak gas elektrolisis air yang memasuki flowmeter dengan melihat gerakan bandul pada flowmeter.

### **3.4 PROSEDUR PENGUJIAN DAN PENGAMBILAN DATA**

Metode pengujian dilakukan ke dalam 2 kategori :

1. Pengujian konsumsi bahan bakar dengan melakukan uji jalan kendaraan
2. Pengujian emisi gas buang kendaraan hasil pembakaran

#### **3.4.1 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  $75 \text{ kg} \pm 5 \text{ kg}$
- 2.2. Kecepatan angin  $< 3 \text{ meter/sekond}$
- 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 jalan baru menuju rektorat UI dengan jarak tempuh 300 m. Pengujian dilakukan dalam 3 tahap kecepatan yang konstan yaitu 30 km/jam, 40 km/jam, 50 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 :

1. Menguji kendaraan dalam kondisi standar tidak menggunakan *mixer* dengan bahan bakar premium

2. Menguji kendaraan dengan menggunakan *mixer* 2 lubang dengan bahan bakar premium dan penambahan hidrogen
3. Menguji kendaraan dengan menggunakan *mixer* 4 lubang dengan bahan bakar premium dan penambahan 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 O<sub>2</sub> 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*.

Hal-hal yang perlu diperhatikan:

1. 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.

2. Kode '81' (*voltage too high*) dan kode '82' (*voltage too low*) akan muncul bila tegangan listrik terlalu tinggi / rendah.
3. Kode '92' (*span O<sub>2</sub> factor*) akan muncul bila sensor oksigen terlepas atau masa pakai sudah habis dan perlu diganti (1-2 tahun).
4. Kode '00' akan muncul jika alat perlu diset ulang dengan mematikan alat selama 10 detik lalu dihidupkan kembali.
5. 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 :

1. Menguji kendaraan dalam kondisi standar tidak menggunakan mixer dengan bahan bakar premium
2. Menguji kendaraan dengan menggunakan mixer 2 lubang dengan bahan bakar premium dan penambahan hidrogen
3. Menguji kendaraan dengan menggunakan mixer 4 lubang dengan bahan bakar premium dan penambahan hidrogen.

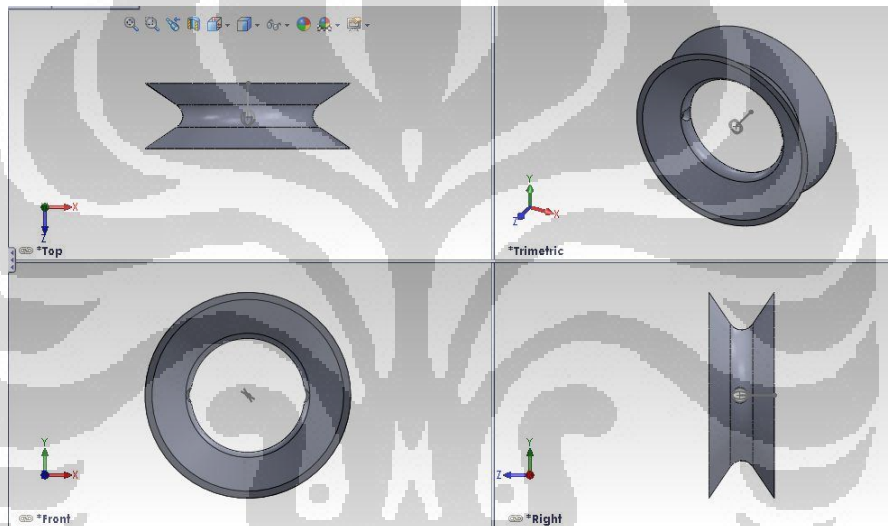
Tiap-tiap tahap pengujian dilakukan 3 kali pengujian yaitu pada RPM 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, dan 5000 dan tiap-tiap RPM dilakukan 3 kali pengujian untuk mengetahui kadar emisi gas buang CO, CO<sub>2</sub>, HC, dan O<sub>2</sub> dengan hasil yang lebih akurat.

## BAB IV

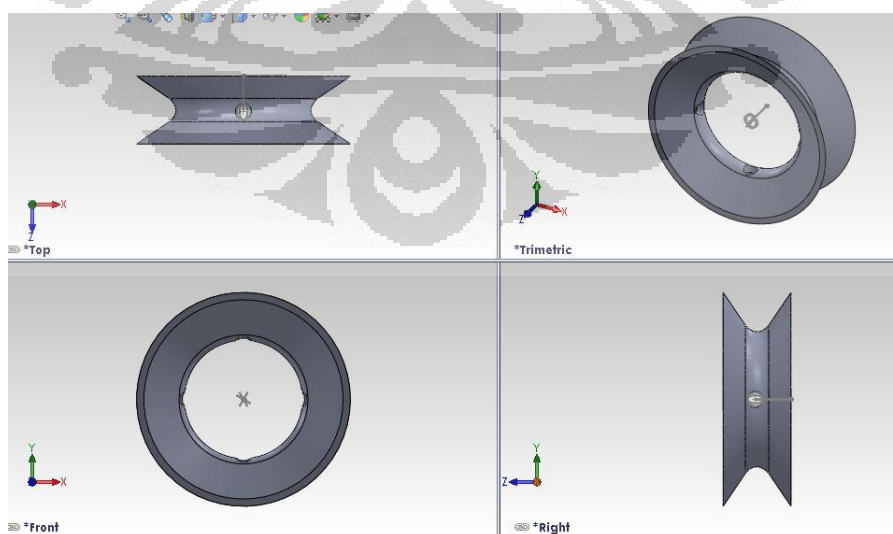
### PENGOLAHAN DATA DAN ANALISIS

Pengujian pemakaian gas hidrogen hasil elektrolisis air bertujuan untuk mengetahui pengaruh gas hidrogen tersebut pada ruang bakar motor bakar 4 langkah. Pengaruh tersebut dapat dilihat dari beberapa parameter berikut :

1. Mengurangi pemakaian BBM sebagai bahan bakar utama setelah penambahan gas hidrogen ( $H_2$ )
2. Emisi gas buang yang dihasilkan setelah penambahan gas hidrogen ( $H_2$ )



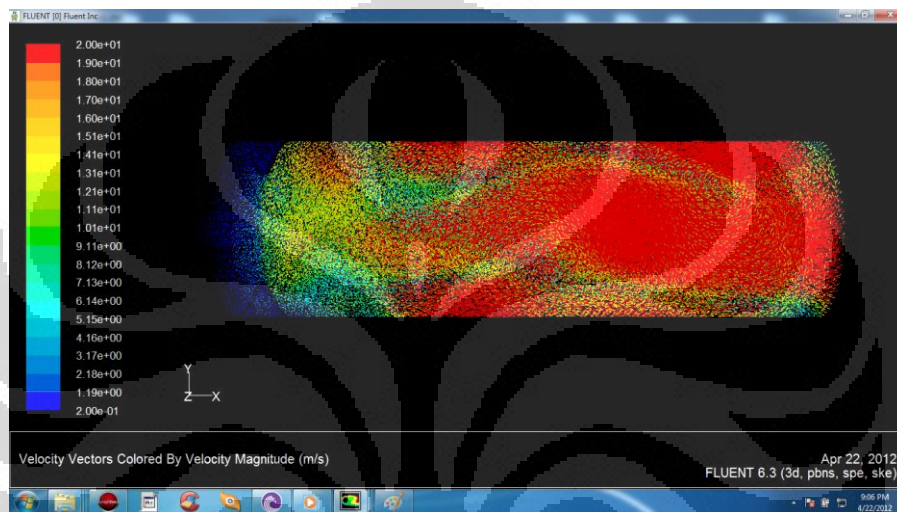
Gambar 4.1 Desain *mixer* 2 lubang



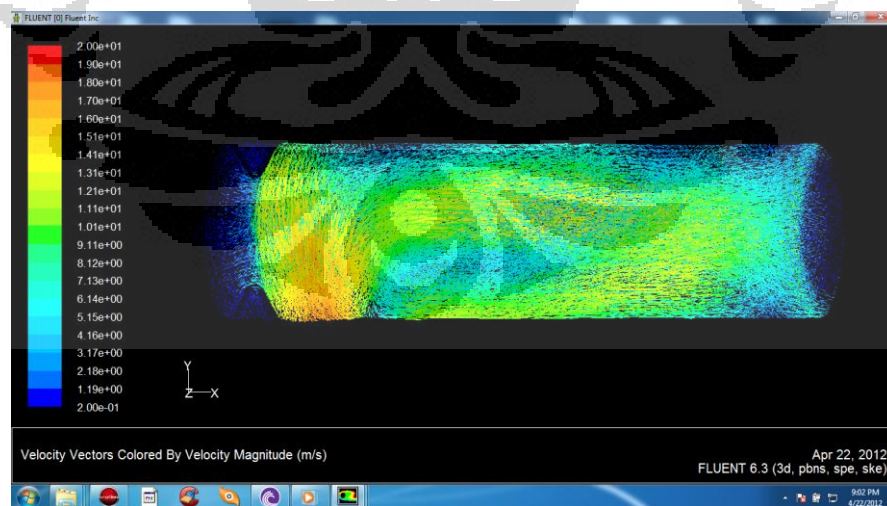
Gambar 4.2 Desain *mixer* 4 lubang

Dari desain *mixer* di atas terdapat perubahan pada saat pembuatannya. Bagian samping dari *mixer* tersebut ketebalannya di tambah agar tidak terjadi kebocoran pada saat pengambilan data.

Berikut adalah gambar hasil simulasi dari *mixer* 2 dan 4 lubang yang menunjukkan kecepatan hidrogen yang masuk ke intake manifold. Warna merah berarti kecepatannya paling tinggi sedangkan warna biru menunjukkan kecepatan paling rendah.



Gambar 4.3 Hasil simulasi desain *mixer* 2 lubang



Gambar 4.4 Hasil simulasi desain *mixer* 4 lubang

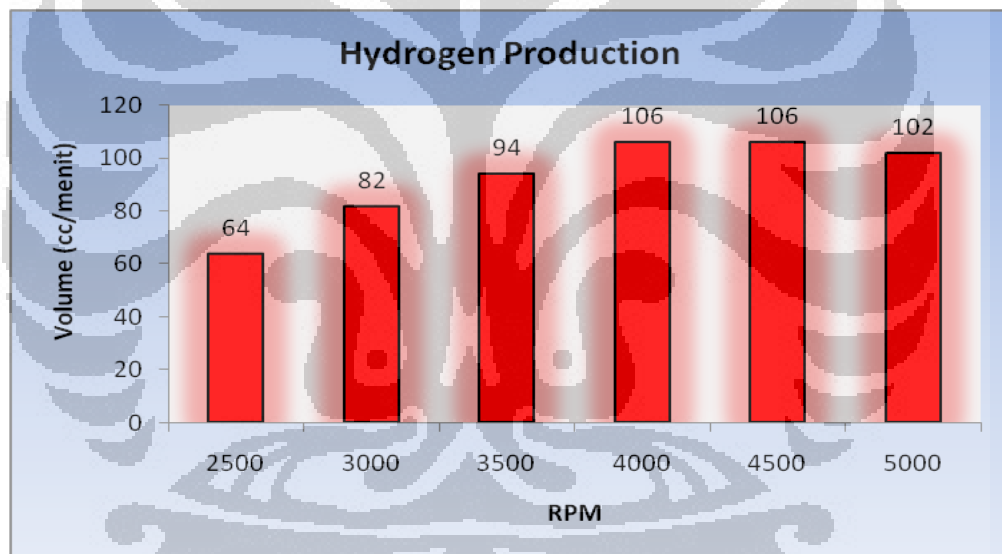
Dari hasil simulasi yang telah dilakukan bahwa kecepatan hidrogen yang masuk ke dalam *intake manifold* yang paling tinggi terdapat pada hasil simulasi



*mixer* 2 lubang. Hal tersebut akan mempengaruhi persebaran hidrogen di ruang bakar dan akan berdampak pada pembakaran dan hasilnya akan mempengaruhi efisiensi konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang pada kendaraan tersebut. Klasifikasi inilah yang menjadi perbedaan hasil mana yang lebih baik dari segi efisiensi dan emisi gas buang dari *mixer* 2 lubang dan 4 lubang.

#### 4.1 Laju Produksi Gas Hidrogen

Untuk mengetahui pengaruh penggunaan gas hidrogen hasil elektrolisis air pada ruang bakar motor bakar 4 langkah, maka terlebih dahulu dilakukan pengukuran laju produksi gas hidrogen yang nantinya akan dialirkan menuju ruang bakar. Berikut adalah hasil pengukuran laju produksi gas hidrogen yang dihasilkan reaktor.



Gambar 4.5 Diagram Laju Produksi Gas Hidrogen

	2500 RPM	3000 RPM	3500 RPM	4000 RPM	4500 RPM	5000 RPM
Laju Produksi H <sub>2</sub> (cc/menit)	60	80	90	110	110	100
Laju Produksi H <sub>2</sub> (cc/menit)	70	90	90	110	110	100
Laju Produksi H <sub>2</sub> (cc/menit)	60	80	110	110	100	100
Laju Produksi H <sub>2</sub> (cc/menit)	70	80	100	100	110	100
Laju Produksi H <sub>2</sub> (cc/menit)	60	80	80	100	100	110

Tabel 4.1 Laju produksi H<sub>2</sub>

- Keterangan :
  1. Volume reaktor adalah 0.5 liter aquades.
  2. Campuran KOH pada aquades adalah untuk 1 liter aquades dicampur 10 gram KOH.
  3. KOH digunakan sebagai katalis.
  4. Pengukuran laju produksi gas hidrogen (H<sub>2</sub>) dilakukan sebanyak lima kali lalu dihitung laju produksi gas hidrogen (H<sub>2</sub>) rata-rata.

Reaksi pembentukan gas hidrogen (H<sub>2</sub>) adalah :



Dari pengukuran laju produksi gas hidrogen, maka dapat diketahui laju produksi gas hidrogen (H<sub>2</sub>) rata-rata sebagai berikut :

$$\text{Rata-rata laju produksi H}_2 = \frac{64+82+94+106+106+102}{5} = 92.33 \text{ cc/menit}$$

Dari diagram dapat diketahui bahwa semakin tinggi putaran mesin (RPM), maka laju produksi gas hidrogen cenderung semakin meningkat. Dengan begitu semakin tinggi putaran mesin, maka suplai gas hidrogen yang menuju ruang bakar juga akan semakin meningkat.

#### 4.2 Perhitungan Keseimbangan Energi

Penambahan gas hidrogen pada motor bakar 4 langkah memang membawa dampak positif, namun secara keseimbangan energi, penghematan penggunaan bahan bakar minyak tidak diikuti dengan penghematan penggunaan energi. Jumlah energi yang digunakan untuk menghasilkan gas hidrogen melalui proses elektrolisis air ternyata lebih besar dibandingkan dengan jumlah energi yang dihasilkan melalui proses elektrolisis tersebut. Berikut perhitungan keseimbangan energi :

Energi listrik yang digunakan per menit:

Pada kondisi 4000 RPM

V = 8,3 Volt

t = 60 detik

$i = 4,7$  ampere

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

$$W = 8,3 \times 4,7 \times 60 = 2340.6 \text{ Joule}$$

Massa gas hidrogen yang dihasilkan oleh energi listrik pada reaktor:

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

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

$$m = \frac{(1 \times 4.7 \times 60)}{96.500} = 0.002922 \text{ gram}$$

Energi pembakaran yang dihasilkan gas hidrogen per menit:

LHV hidrogen = 113,73 BTU/gram

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

$$0,002922 \cdot 113,73 = 0.3323 \text{ BTU}$$

$$0.3394 \text{ BTU} = 350.66 \text{ Joule}$$

Perbandingan energi (efisiensi) yang diberikan dan yang didapat:

$$\begin{aligned} \eta &= (W_{\text{hidrogen}} / W_{\text{listrik}}) \times 100 \\ &= (350.66 / 2340.6) \times 100\% \\ &= 14.98 \% \end{aligned}$$

Artinya, proses elektrolisis hanya bisa mendapatkan maksimal 14.98 % energi dari energi total yang diberikan oleh listrik.

#### 4.3 Hasil Pengujian dan Efisiensi Bahan Bakar

Pada pengujian ini, dilakukan pengujian jalan kendaraan merujuk SNI 06-3763-1995. Pengujian dilakukan pertama kali untuk kondisi standar tanpa penambahan gas hidrogen dan pemasangan *mixer*. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui konsumsi bahan bakar pada kondisi standar. Data konsumsi bahan bakar tersebut nantinya akan dijadikan acuan. Selanjutnya dilakukan dengan pemasangan *mixer* 2 dan 4 lubang dan penambahan gas hidrogen.

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)

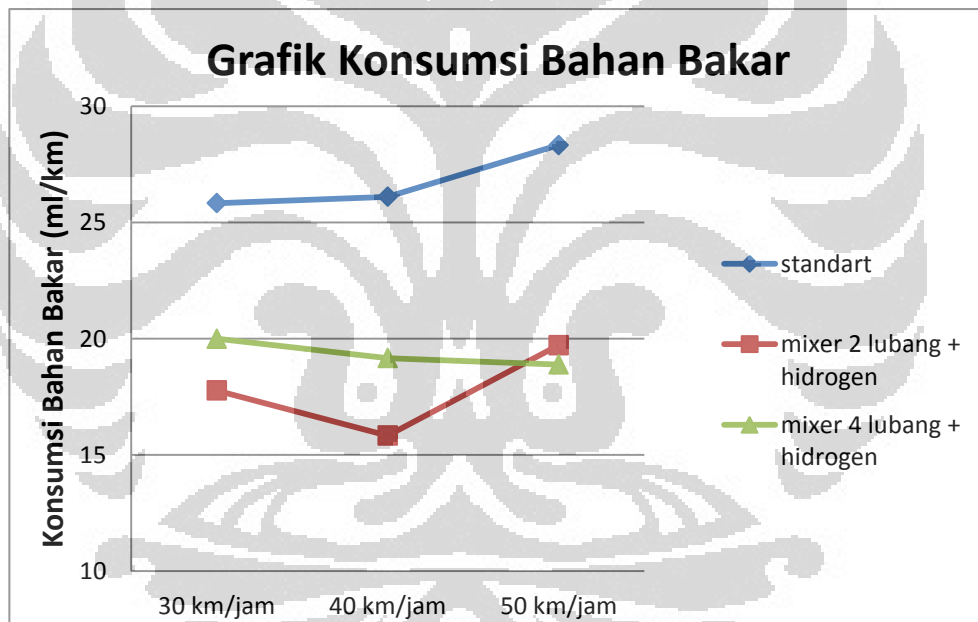
Contoh :

$s = 300 \text{ m} = 0.3 \text{ km}$

$Q = 6 \text{ ml} = 0,006 \text{ liter}$

$F = 6 / 0.3 = \text{ml/km} = 0,02 \text{ liter/km}$

Berikut adalah grafik data perbandingan pengujian konsumsi bahan bakar :



Gambar 4.6 Grafik perbandingan konsumsi bahan bakar

	<b>standart (ml/km)</b>	<b>2 lubang (ml/km)</b>	<b>4 lubang (ml/km)</b>
<b>30 km/jam</b>	25,8333333	17,7777778	20
<b>40 km/jam</b>	26,1111111	15,8333333	19,1666667
<b>50 km/jam</b>	28,3333333	19,7222222	18,8888889
<b>rata-rata</b>	<b>26,7592593</b>	<b>17,7777778</b>	<b>19,3518519</b>

Tabel 4.2 Efisiensi bahan bakar uji jalan

Grafik di atas merupakan hasil dari pengambilan data yang telah diambil dan dilakukan perbandingan. Perbandingan yang dilakukan yaitu dalam kondisi standart dengan pemasangan *mixer* hidrogen 2 lubang dan 4 lubang. Grafik di atas juga memperlihatkan bahwa dengan penambahan gas hidrogen pada ruang bakar dapat menurunkan konsumsi bahan bakar. Jika dibandingkan dengan kondisi standar, maka penambahan gas hidrogen ke dalam ruang bakar dapat menurunkan konsumsi bahan bakar. Efisiensi paling besar terjadi pada penambahan gas hydrogen yang memakai *mixer* 2 lubang. Hal ini terjadi akibat pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar terjadi lebih sempurna karena di dalam ruang bakar telah ditambahkan bahan bakar tambahan berupa gas hidrogen.

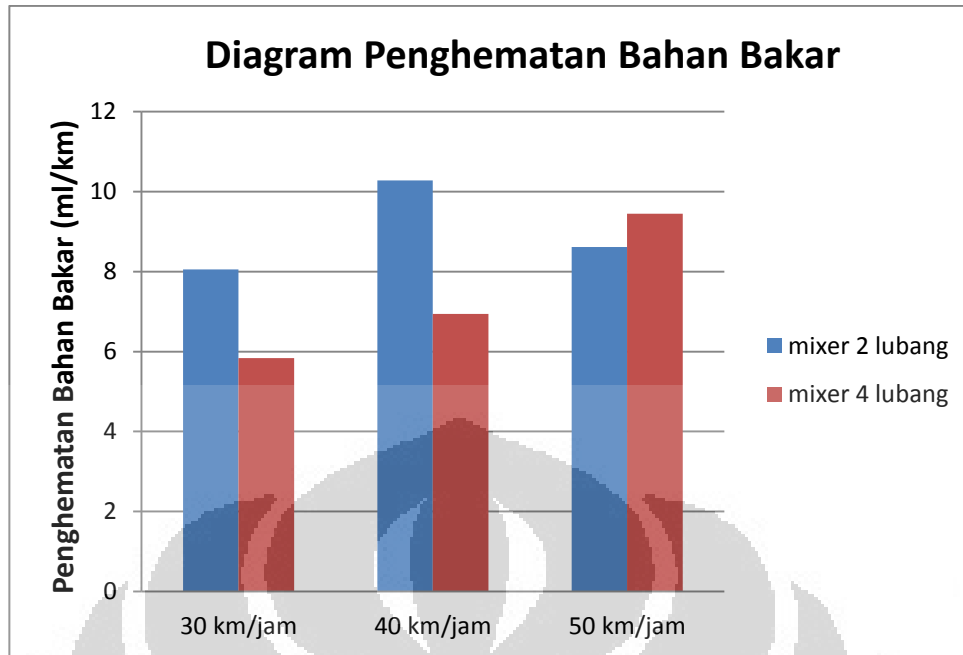
Untuk mengetahui seberapa besar penghematan yang didapat maka dilakukan perhitungan sebagai berikut:

Contoh perhitungan pada kecepatan 40 km/jam dengan kondisi penggunaan *mixer* 2 lubang dan dengan ditambahkan gas hidrogen :

$$fc_{\text{kondisi standar}} = 26.11 \text{ ml/km}$$

$$fc_{\text{mixer 2 lubang + hidrogen}} = 15.83 \text{ ml/km}$$

$$\Delta fc = fc_{\text{kondisi standar}} - fc_{\text{mixer 2 lubang + hidrogen}} = 26.11 - 15.83 = 10.28 \text{ ml/km}$$



Gambar 4.7 Diagram penghematan bahan bakar

	standart	2 lubang (ml)	4 lubang (ml)
30 km/jam	0	8,05555556	5,83333333
40 km/jam	0	10,2777778	6,94444444
50 km/jam	0	8,61111111	9,44444444
<b>rata-rata</b>	<b>0</b>	<b>8,98148148</b>	<b>7,40740741</b>

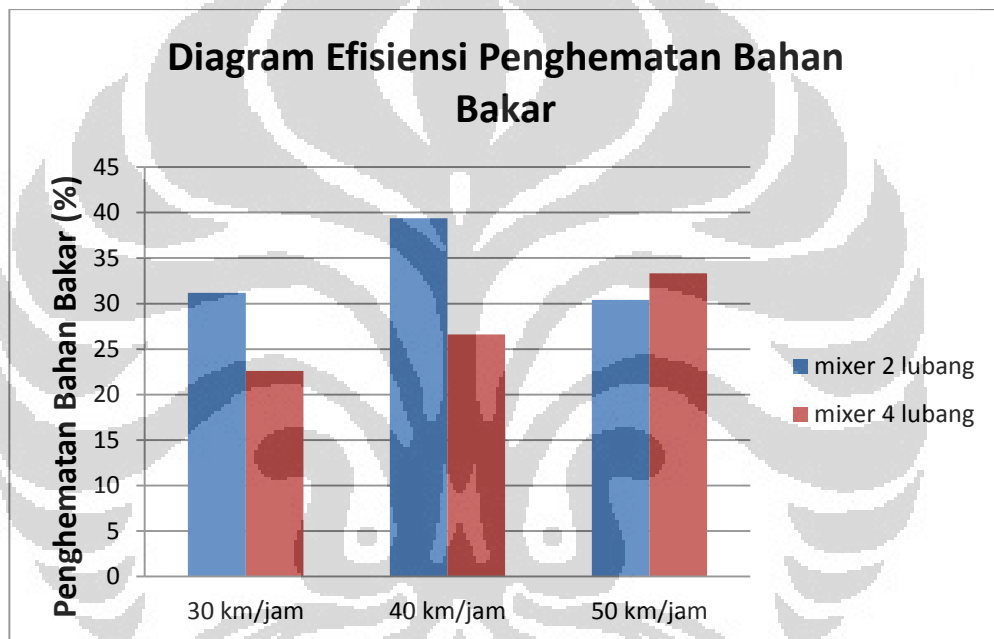
Tabel 4.3 Perbandingan penghematan bahan bakar (ml)

Berdasarkan gambar diagram penghematan bahan bakar yang menggunakan hidrogen dapat dilihat *mixer* 2 lubang memiliki penghematan paling besar dibandingkan *mixer* 4 lubang pada kecepatan 40 km/jam. Penghematannya sampai 10.28 ml/km. Memasuki kecepatan 50 km/jam *mixer* 4 lubang mempunyai penghematan melebihi *mixer* 2 lubang. . Namun, pada kecepatan 50 km/jam pada *mixer* 2 lubang terjadi rentang hasil dari data yang telah diambil sangat besar yang menyebabkan *mixer* 4 lubang lebih efisien dibandingkan *mixer* 2 lubang. Karena pada kenyataannya sepeda motor berjalan dengan kecepatan yang tidak selalu konstan, maka harus diketahui efisiensi rata-rata dari konsumsi bahan bakar.

Berikut ditampilkan diagram efisiensi penghematan konsumsi bahan bakar :

Maka persentase penghematan BBM adalah:

$$\begin{aligned} \text{Penghematan (\%)} &= \frac{\Delta f_c}{f_c \text{ kondisi standar}} \times 100 \\ &= \frac{10.28}{26.11} \times 100 \\ &= 39.37 \% \end{aligned}$$



Gambar 4.8 Diagram efisiensi penghematan konsumsi bahan bakar

	Standart	2 lubang (%)	4 lubang (%)
<b>30 km/jam</b>	0	31,1827957	22,5806452
<b>40 km/jam</b>	0	39,3617021	26,5957447
<b>50 km/jam</b>	0	30,3921569	33,3333333
<b>rata-rata</b>	0	<b>33,6455516</b>	<b>27,5032411</b>

Tabel 4.4 Persentase penghematan bahan bakar

Persentase penghematan konsumsi bahan bakar menggunakan gas hidrogen yang paling besar terjadi di kecepatan 40 km/jam dengan menggunakan *mixer* 2 lubang sebesar 39.37%.

$$AFR_{\text{premium}} = \frac{ma}{mf} = \frac{1725,5}{114} = 15,13$$

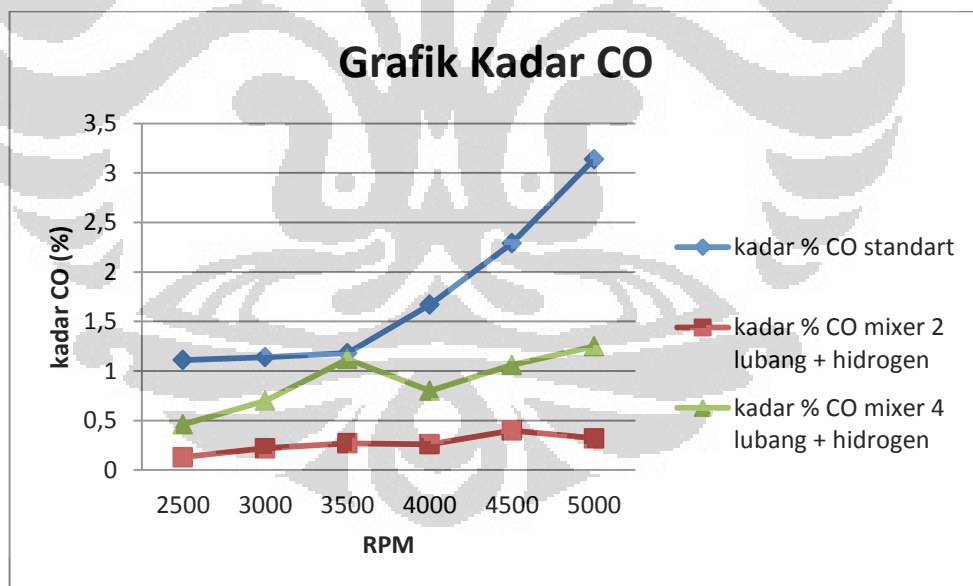
$$AFR_{\text{premium+hidrogen}} = \frac{ma}{mf} = \frac{1725,5}{114+2} = 14,86$$

Dari hasil *Air Fuel Ratio* (AFR), AFR bensin udaranya lebih banyak dibandingkan dengan penambahan hidrogen.

#### 4.4 Analisis Emisi Gas Buang

##### i. Analisis Kandungan CO pada Gas Buang

Gas CO merupakan hasil pembakaran yang tidak sempurna. Gas CO yang dihasilkan pada gas buang mengindikasikan bahwa terjadi pembakaran yang tidak sempurna pada ruang bakar. Kandungan gas CO akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya putaran mesin. Hal tersebut terjadi karena semakin tinggi putaran mesin, maka mesin membutuhkan lebih banyak suplai bahan bakar.



Gambar 4.9 Grafik kandungan CO



Kadar % CO Emisi gas Buang	Rata-Rata Kadar CO (%)	Penurunan Kadar CO (%)
Kadar % CO standart	2,106	0
Kadar % CO mixer 2 lubang	0,32	1,786
Kadar % CO mixer 4 lubang	1,078	1,028

Tabel 4.5 Perbandingan kadar CO

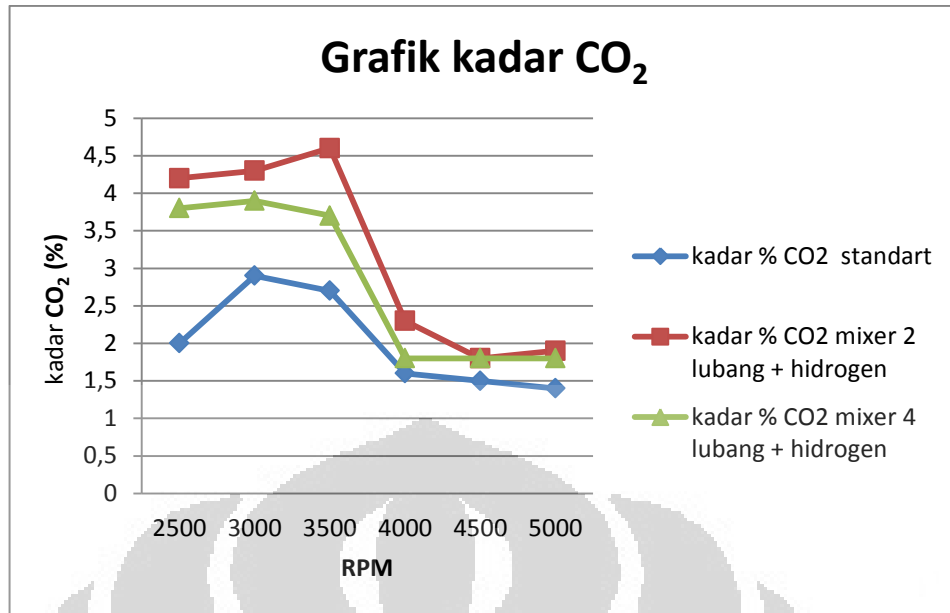
Dari grafik diatas dapat dikatakan bahwa kadar CO keadaan standart lebih tinggi dibandingkan dengan kadar CO yang telah di pasang mixer dan menggunakan hidrogen. *Mixer* dengan 2 lubang mempunyai kadar CO terendah yaitu pada putaran 2500 rpm sebesar 0.13%. Kandungan CO semakin meningkat seiring bertambahnya putaran mesin. Hal itu disebabkan karena semakin bertambahnya putaran mesin maka semakin banyak dibutuhkan suplai bahan bakar, akibatnya kandungan CO juga semakin bertambah. Namun, dengan adanya penambahan gas hidrogen, mengindikasikan bahwa pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar menjadi lebih baik.

## ii. Analisis Kandungan CO<sub>2</sub> pada Gas Buang

Kandungan CO<sub>2</sub> yang dihasilkan pada gas buang mengindikasikan bahwa pembakaran cukup baik pada ruang bakar. Semakin tinggi kadar CO<sub>2</sub> pada gas buang mengindikasikan pembakaran yang terjadi pada ruang bakar semakin sempurna. Hal ini ditunjukkan dengan reaksi pembakaran ideal sebagai berikut :



Dari reaksi pembakaran ideal di atas, maka hasil pembakaran berupa gas CO<sub>2</sub> mengindikasikan bahwa pembakaran di ruang bakar terjadi dengan sempurna.



Gambar 4.10 Grafik Kandungan CO<sub>2</sub>

Kadar % CO <sub>2</sub> Emisi gas Buang	Rata-Rata Kadar CO <sub>2</sub> (%)	Kenaikan Kadar CO <sub>2</sub> (%)
Kadar % CO <sub>2</sub> standart	2,42	0
Kadar % CO <sub>2</sub> mixer 2 lubang	3,82	1,4
Kadar % CO <sub>2</sub> mixer 4 lubang	3,36	0,94

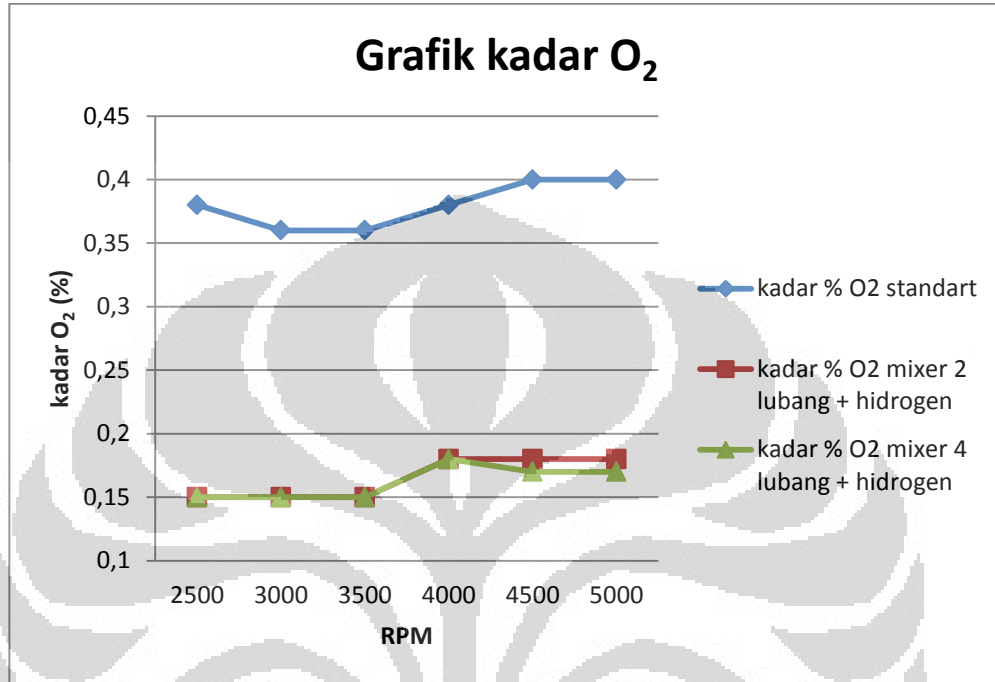
Tabel 4.6 perbandingan kadar CO<sub>2</sub>

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa penambahan gas hidrogen dapat mempengaruhi kualitas emisi gas buang. Kadar % CO<sub>2</sub> yang telah dipasang *mixer* 2 lubang terlihat sangat tinggi pada 3500 rpm sebesar 4.6%. Maka pembakaran di ruang bakar paling sempurna di bandingkan dengan kondisi standart ataupun *mixer* yang 4 lubang. Pada 5000 rpm jaga kadar % CO<sub>2</sub> yang dihasilkan paling tinggi dibandingkan kondisi standar dan *mixer* 4 lubang sebesar 1.9%. Adapun kadar CO<sub>2</sub> yang paling rendah yaitu di rpm 5000 pada kondisi standar sebesar 1.5%.

### iii. Analisis Kandungan O<sub>2</sub> pada Gas Buang

Kandungan gas O<sub>2</sub> yang semakin kecil pada gas buang menunjukkan bahwa pembakaran semakin baik. Hal itu dikarenakan gas O<sub>2</sub> digunakan sebagai pereaksi pada reaksi pembakaran, sehingga gas O<sub>2</sub>

bukanlah hasil dari pembakaran. Oleh karena itu, dengan kandungan gas  $O_2$  yang semakin kecil pada gas buang, maka mengindikasikan bahwa pembakaran di dalam ruang bakar semakin baik.



Gambar 4.11 Grafik Kandungan  $O_2$

Kadar % $O_2$ Emisi gas Buang	Rata-Rata Kadar $O_2$ (%)	Penurunan Kadar $O_2$ (%)
Kadar % $O_2$ standart	0,456	0
Kadar % $O_2$ mixer 2 lubang	0,198	0,258
Kadar % $O_2$ mixer 4 lubang	0,194	0,262

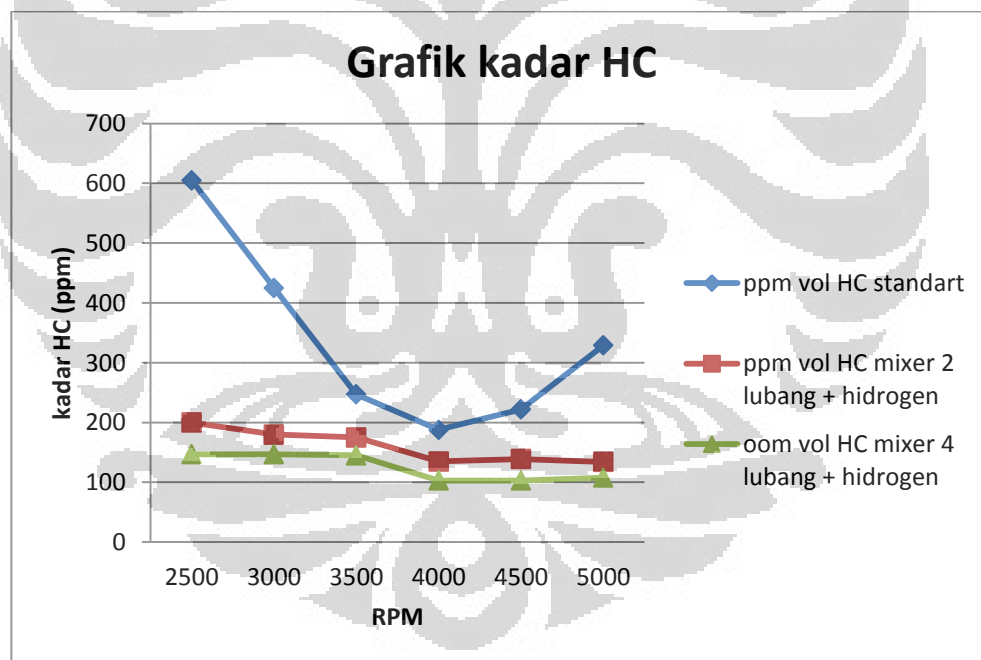
Tabel 4.7 Perbandingan kadar  $O_2$

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa dengan penambahan gas hidrogen, maka kandungan gas  $O_2$  pada gas buang semakin menurun. Hal itu menunjukkan bahwa penambahan gas hidrogen dapat memperbaiki pembakaran di dalam ruang bakar. Dengan pemasangan *mixer* ditambah dengan gas hidrogen yang masuk ke *intake manifold* terlihat mampu mengurangi kadar gas  $O_2$  pada emisi gas buang. Kandungan gas  $O_2$  paling tinggi yaitu pada putaran mesin 5000 rpm pada kondisi standart.

Sedangkan kadar gas O<sub>2</sub> paling rendah terdapat pada putaran mesin 2500-3500 rpm yang dipasangkan *mixer* yaitu sebesar 0.15%. Sangat terlihat perbedaan gas buang O<sub>2</sub> antara kondisi standart dengan pemakaian *mixer* gas hidrogen yang mencapai 0.2%. Korelasi gas buang O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> apabila gas O<sub>2</sub> yang dihasilkan semakin banyak maka pembakaran yang terjadi semakin buruk sedangkan apabila CO<sub>2</sub> semakin banyak pembakaran yang terjadi semakin sempurna

#### iv. Analisis 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 (*rich mixture*).



Gambar 4.12 Grafik Kandungan HC

Kadar vol HC Emisi Gas Buang	Rata-Rata Kadar vol HC (ppm)	Penurunan Kadar vol HC (ppm)
Kadar vol HC standart	403,2	0
Kadar HC mixer 2 lubang	192,6	210,6
Kadar HC mixer 4 lubang	150,6	252,6

Tabel 4.8 Perbandingan kadar vol HC

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa dengan penambahan gas hidrogen, maka kandungan HC semakin menurun. Hal tersebut mengindikasikan bahwa dengan penambahan gas hidrogen, maka jumlah bahan bakar yang tidak terbakar di dalam ruang bakar semakin sedikit jumlahnya, sehingga pembakaran menjadi lebih baik. Perbedaan kadar HC yang paling tinggi yaitu pada rpm 2500 apabila dibandingkan dengan kondisi standart dengan pemakaian *mixer* ditambah dengan gas hidrogen. Pada kondisi standart kadar HC yaitu 605 ppm. Sedangkan kadar HC yang paling rendah yaitu pada *mixer* 4 lubang pada putaran 4000 dan 4500 rpm sebesar 103 ppm.



## BAB V

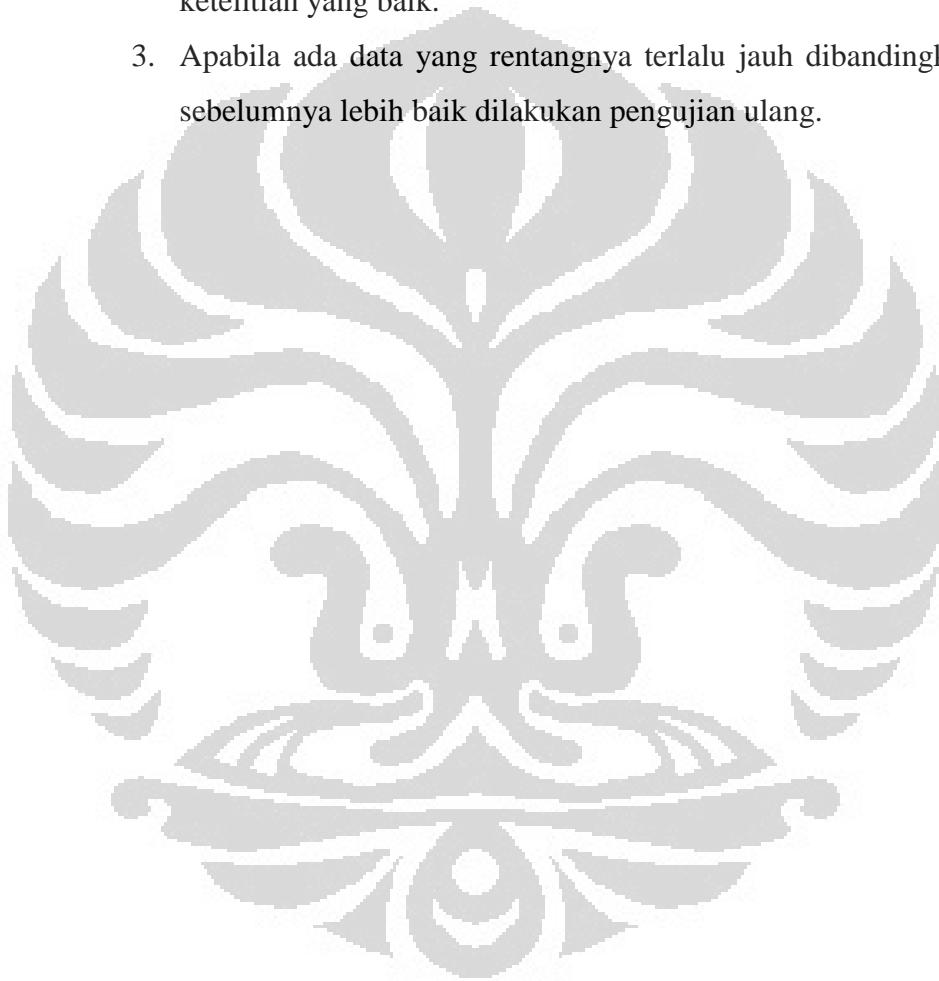
### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

1. Secara keseluruhan penggunaan gas hidrogen hasil elektrolisis air memiliki dampak yang positif terhadap kinerja motor bakar 4 langkah serta perbaikan kualitas emisi gas buang kendaraan.
2. *Mixer* 2 lubang dengan memakai hidrogen lebih baik dari segi efisiensi BBM dan emisi gas buang daripada kondisi standart dan *mixer* 4 lubang dapat dilihat dari klasifikasi kecepatan dan penyebaran hidrogen (hasil CFD) yang masuk ke *intake* manifold, hasil efisiensi bahan bakar, dan hasil emisi gas buang.
3. Rata – rata laju produksi gas hidrogen yang dihasilkan oleh reaktor elektrolisis adalah sebesar 92.33 cc/menit.
4. Pengurangan konsumsi bahan bakar minyak maksimum terjadi pada *mixer* 2 lubang dengan penambahan gas hidrogen pada kecepatan 40 km/jam. Efisiensi penghematan pada kondisi ini adalah sebesar 39.37%. Sedangkan rata-rata efisiensi masing-masing *mixer* dengan penambahan hidrogen adalah 33.65% untuk *mixer* 2 lubang dan 27.50% untuk *mixer* 4 lubang.
5. Kualitas emisi gas buang menjadi lebih baik setelah ditambahkan gas hidrogen di mana kadar CO, HC, serta O<sub>2</sub> menjadi turun, sedangkan kadar CO<sub>2</sub> meningkat. Kadar paling rendah pada emisi gas buang CO yaitu pada rpm 2500 dengan menggunakan *mixer* 2 lubang. Untuk kadar O<sub>2</sub> yang paling rendah pada kedua *mixer* di putaran mesin 2500 sampai 3500 rpm sebesar 0.15%. Sedangkan kadar HC kadar yang paling rendah terjadi pada rpm 4000 dan 4500 di *mixer* 4 lubang sebesar 103 ppm. Kadar CO<sub>2</sub> yang paling tinggi terdapat pada *mixer* 2 lubang dengan putaran mesin 3500 rpm sebesar 4.6%.

## 5.2 Saran

1. Pada penelitian selanjutnya untuk mendapatkan hasil yang baik perlu dilakukan pembersihan gas *analyzer* yg digunakan. Hal ini bertujuan agar karbon yang terdapat di alat tersebut hilang dan data yang didapat akan semakin akurat khususnya data ppm vol HC.
2. Sebelum melakukan percobaan pastikan alat uji ukur yang digunakan berada pada kondisi baik. Agar pengukuran memiliki ketelitian yang baik.
3. Apabila ada data yang rentangnya terlalu jauh dibandingkan data sebelumnya lebih baik dilakukan pengujian ulang.



## DAFTAR REFERENSI

- 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.
- Barca, Albertus, *Injeksi gas Hidrogen Pada Sistem Pembakaran di Sepeda Motor dengan Konfigurasi Pitot Tube*. Skripsi Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2011/2012
- 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.
- Narutomo, Arandityo, *Analisis Penggunaan Gas Hidrogen Hasil Elektrolisis Air Pada Motor Bakar 4 Langkah Yang Diinjeksikan Setelah Karburator Dengan Variasi Derajat Timing Pengapian*. Skripsi Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2010/2011
- Pawitra, Bhaskara A. *Pengaruh Penambahan Gas Elektrolisa Air terhadap Konsumsi Premium Pada Motor Bakar 4 Langkah dengan Pengecilan Pilot Jet*. Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2008/2009
- 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.



## LAMPIRAN

Lampiran 1. Data laju produksi gas hidrogen hasil elektrolisis

	2500 RPM	3000 RPM	3500 RPM	4000 RPM	4500 RPM	5000 RPM
Laju Produksi H <sub>2</sub> (cc/menit)	60	80	90	110	110	100
Laju Produksi H <sub>2</sub> (cc/menit)	70	90	90	110	110	100
Laju Produksi H <sub>2</sub> (cc/menit)	60	80	110	110	100	100
Laju Produksi H <sub>2</sub> (cc/menit)	70	80	100	100	110	100
Laju Produksi H <sub>2</sub> (cc/menit)	60	80	80	100	100	110

Lampiran 2. Data konsumsi bahan bakar untuk berbagai kondisi

1. Konsumsi bahan bakar dalam kondisi standart

percobaan	kec (km/jam)		
	30 km/jam (ml)	40 km/jam (ml)	50 km/jam (ml)
I	8	8	8,5
II	7,5	7,5	8,5
III	7,75	8	8,5
<b>rata-rata</b>	7,75	7,83333333	8,5

2. Konsumsi bahan bakar dengan menggunakan *mixer* 2 lubang dan hidrogen

percobaan	kec (km/jam)		
	30 km/jam (ml)	40 km/jam (ml)	50 km/jam (ml)
I	6	4,5	6,75
II	6	5,5	6
III	4	4,25	5
<b>rata-rata</b>	5,33333333	4,75	5,91666667

3. Konsumsi bahan bakar dengan menggunakan *mixer* 4 lubang dan hidrogen

percobaan	kec (km/jam)		
	30 km/jam (ml)	40 km/jam (ml)	50 km/jam (ml)
I	6	5,5	5,75
II	6	6	5,25
III	6	5,75	6
<b>rata-rata</b>	6	5,75	5,66666667

Lampiran 3. Data efisiensi bahan bakar uji jalan dengan jarak 300m

	<b>standart (ml/km)</b>	<b>2 lubang (ml/km)</b>	<b>4 lubang (ml/km)</b>
<b>30 km/jam</b>	25,8333333	17,7777778	20
<b>40 km/jam</b>	26,1111111	15,8333333	19,1666667
<b>50 km/jam</b>	28,3333333	19,7222222	18,8888889
<b>rata-rata</b>	<b>26,7592593</b>	<b>17,7777778</b>	<b>19,3518519</b>

Lampiran 4. Data perbandingan penghematan bahan bakar standart dengan *mixer* dan hidrogen (ml)

	<b>Standart (ml)</b>	<b>2 lubang (ml)</b>	<b>4 lubang (ml)</b>
<b>30 km/jam</b>	0	8,05555556	5,83333333
<b>40 km/jam</b>	0	10,2777778	6,94444444
<b>50 km/jam</b>	0	8,61111111	9,44444444
<b>rata-rata</b>	0	<b>8,98148148</b>	<b>7,40740741</b>

Lampiran 5. Data persentase penghematan bahan bakar standart dengan *mixer* dan hidrogen (%)

	<b>Standart (%)</b>	<b>2 lubang (%)</b>	<b>4 lubang (%)</b>
<b>30 km/jam</b>	0	31,1827957	22,5806452
<b>40 km/jam</b>	0	39,3617021	26,5957447
<b>50 km/jam</b>	0	30,3921569	33,3333333
<b>rata-rata</b>	0	<b>33,6455516</b>	<b>27,5032411</b>

Lampiran 6. Data emisi gas buang untuk berbagai kondisi

1. Emisi gas buang keadaan standart (tanpa penambahan *mixer* dan hidrogen)

<b>Emisi</b>	<b>RPM</b>					
	<b>2500</b>	<b>3000</b>	<b>3500</b>	<b>4000</b>	<b>4500</b>	<b>5000</b>
<b>% vol CO</b>	1,11	1,14	1,18	1,67	2,29	3,14
<b>% vol CO<sub>2</sub></b>	2	2,9	2,7	2,8	2,7	1,5
<b>% vol O<sub>2</sub></b>	0,38	0,36	0,36	0,38	0,4	0,4
<b>ppm vol HC</b>	605	425	247	188	222	329

2. Emisi gas buang dengan *mixer* 2 lubang dan hidrogen

Emisi	RPM					
	2500	3000	3500	4000	4500	5000
% vol CO	0,13	0,22	0,27	0,26	0,4	0,32
% vol CO <sub>2</sub>	4,2	4,3	4,6	2,3	1,8	1,9
% vol O <sub>2</sub>	0,15	0,15	0,15	0,18	0,18	0,18
ppm vol HC	200	180	175	135	139	134

3. Emisi gas buang dengan *mixer* 4 lubang dan hidrogen

Emisi	RPM					
	2500	3000	3500	4000	4500	5000
% vol CO	0,46	0,7	1,12	0,8	1,06	1,25
% vol CO <sub>2</sub>	3,8	3,9	3,7	1,8	1,8	1,8
% vol O <sub>2</sub>	0,15	0,15	0,15	0,18	0,17	0,17
ppm vol HC	147	147	145	103	103	108