



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS PENAMBAHAN GAS HASIL ELEKTROLISIS AIR
PADA MOTOR BAKAR 4 LANGKAH DENGAN POSISI
INJEKSI SEBELUM KARBURATOR DISERTAI VARIASI
DERAJAT TIMING PENGAPIAN**

SKRIPSI

MUHAMMAD ARDIANSYAH

NPM: 0706267206

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
DEPOK
JULI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS PENAMBAHAN GAS HASIL ELEKTROLISIS AIR
PADA MOTOR BAKAR 4 LANGKAH DENGAN POSISI
INJEKSI SEBELUM KARBURATOR DISERTAI VARIASI
DERAJAT TIMING PENGAPIAN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

MUHAMMAD ARDIANSYAH

NPM: 0706267206

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
DEPOK
JULI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Muhammad Ardiansyah

NPM: : 0706267206

Tanda Tangan : 

Tanggal : Juli 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Muhammad Ardiansyah
NPM : 0706267206
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Analisis Penambahan Gas Hasil Elektrolisis Air pada Motor Bakar 4 Langkah dengan Posisi Injeksi Sebelum Karburator Disertai Variasi Derajat Timing Pengapian

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

DEWAN PENGUJI

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

Penguji : Prof. Dr. Ir. Yulianto S. Nugroho, MSc. (.....)

Penguji : Dr. Ir. R. Danardono A. S., DEA. PE (.....)

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

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juli 2011

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. H.Sjahriar M dan Hj.Chusbandiah Khadidjah, selaku orang tua yang selama ini telah mendoakan serta memberikan dukungan, baik materi maupun moral kepada penulis;
3. Rekan-rekan Batavia, Teddy, Rano, Vian, Arya, Lalang, Isa, Dito, Rantot, Novel, Cahyo, Bago, Dyanin, Ibeth, Astrid, yang senantiasa memberikan cerita tersendiri di mana canda dan tawa selalu ada selama 4 tahun ini dan tentunya akan selalu menjadi kenangan selama masa perkuliahan ;

4. Teman-teman Teknik Mesin Universitas Indonesia angkatan 2007, 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. Para Staff karyawan Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia yang selama 4 tahun ini membantu kelancaran dalam berkuliah, Mas Syarif, Mas Supri, Mas Yasin, dan Mbak Yani,
7. Seluruh warga Kukusan dan pihak-pihak yang selama 4 tahun ini telah berkontribusi dalam kehidupan penulis selama menempuh pendidikan di Universitas Indonesia.
8. Seluruh Mekanik motor, Bang Miftah Sholih, Iyong, Pak Harsoyo, Robert Cong, Tomy Huang, yang telah membantu memberikan masukan selama mengerjakan skripsi ini.

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, Juli 2011

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Muhammad Ardiansyah

NPM : 0706267206

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 Non eksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

ANALISIS PENAMBAHAN GAS HASIL ELEKTROLISIS AIR PADA MOTOR BAKAR 4 LANGKAH DENGAN POSISI INJEKSI SEBELUM KARBURATOR DISERTAI VARIASI DERAJAT TIMING PENGAPIAN

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Juli 2011

Yang menyatakan



(Muhammad Ardiansyah)

ABSTRAK

Nama : Muhammad Ardiansyah
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Analisis Penambahan Gas Hasil Elektrolisis Air pada Motor Bakar 4 Langkah dengan Posisi Injeksi Sebelum Karburator Disertai Variasi Derajat Timing Pengapian

Struktur molekul air melalui proses elektrolisa dapat dipecah menjadi gas O₂ dan H₂. Dengan menambahkan gas hasil elektrolisa air ke motor bakar 4 langkah sebagai bahan bakar. Gas ini dapat mengurangi peran bahan bakar minyak sebagai sumber energinya. Dengan menambahkan gas hasil elektrolisa air ke motor bakar 4 langkah sebagai bahan bakar. Agar dapat lebih mengurangi konsumsi bahan bakar derajat timing pengapian motor dimajukan beberapa derajat. Pengujian efisiensi ini dilakukan pada sepeda motor Honda supra fit 100cc dengan menginjeksikan gas hasil elektrolisa pada air filter sebelum karburator dan menggunakan bahan bakar premium dan pertamax dalam empat variasi derajat timing pengapian yaitu pada pengapian standar motor supra fit 150 BTDC (before top dead center) dan pada RPM 2000, 270 BTDC (before top dead center) tidak berubah. Tetapi, empat variasi perubahan dilakukan pada posisi RPM 2500, 300, 310 320 330 BTDC (before top dead center) pada RPM 3000-9000 dan 290, 300, 310, 320 BTDC (before top dead center) pada RPM 9500-10000. Pengaturan posisi derajat timing pengapian menggunakan CDI (Capacitor Discharge Ignition) digital. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan Fuel Consumption (FC) melalui uji jalan kendaraan, emisi gas buang, daya dan torsi kendaraan dimana di tiap-tiap pengujian dilakukan 16 tahap pengujian, pengujian dengan bahan bakar premium dengan empat variasi timing pengapian dan pengujian dengan bahan bakar pertamax dengan empat variasi derajat timing pengapian.

Kata kunci: *Air Filter*, Karburator, Gas Hidrogen, Sepeda Motor, *Timing Pengapian*

ABSTRACT

Name : Muhammad Ardiansyah
Study Program : Mechanical Engineering
Title : Analysis of Addition of Gas by Water Electrolysis on 4-stroke Internal Combustion Engine to Position before Carburetor with Variation Degrees of Ignition Timing

The molecular structure of water electrolysis process can be separated into O₂ and H₂ gas. With the addition of water electrolysis gas to the 4-stroke internal combustion engine the Fuel Consumption can be decreased. For more reduction of fuel consumption. The degree of ignition timing we advanced to a several degrees. The efficiency experiment was done using Honda supra fit 100cc by injecting the water electrolysis gas to Air filter before the carburetor and use premium and pertamax as the fuel in four variations of ignition timing degree. The standard ignition timing of Honda supra fit 100cc at 150 BTDC (before top dead center) and on RPM 2000, 270 BTDC (before top dead center) is not changed. However, the four variations of the changes made in the position of RPM 2500, 300, 310 320 330 BTDC (before top dead center) pada RPM 3000-9000 and 290, 300, 310, 320 BTDC (before top dead center) on RPM 9500-10000. The ignition timing degree position setting using CDI (Capacitor Discharge Ignition). The experiments have done by comparing of Fuel Consumption through vehicle road test, exhaust gas emissions, power and torque of the vehicle in which at each stage of testing conducted 16 experiments. The experiment with premium fuel with four variations of ignition timing and the experiment with pertamax fuel with four variations of ignition timing degree.

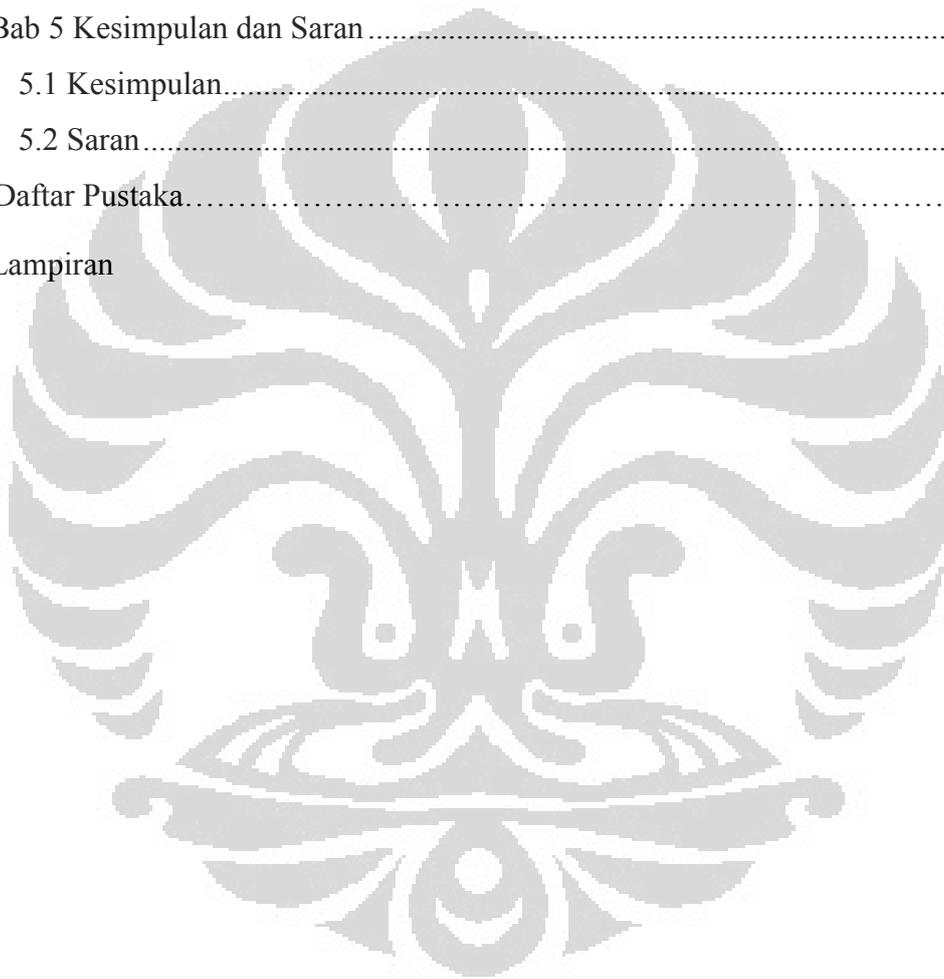
Key words: Air Filter, Carburetor, Hydrogen Gas, Motor Vehicle, Ignition Timing

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	xiii
Daftar Tabel.....	xv
BAB 1 Pendahuluan.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Metodologi Penelitian	4
BAB 2 Landasan Teori.....	7
2.1 Motor Otto.....	7
2.2 Siklus Kerja Motor Otto.....	8
2.3 Parameter Prestasi Mesin	12
2.4 Pembakaran dan Emisi Pada Motor Otto	13
2.4.1 Pembakaran Dengan Penambahan Gas Elektrolisa.....	14
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 _x).....	16
2.5.4 Udara Berlebih (<i>Excess Air</i>).....	16
2.6 Elektrolisa Air.....	17
2.6.1 Pelepasan dan Penangkapan Elektron.....	18

2.7 Karakteristik Air.....	19
2.7.1 Hidrogen.....	20
2.7.2 Oksigen.....	22
2.8 Hukum-Hukum Fisika dan Kimia.....	23
2.8.1 Hukum Kekekalan Energi.....	23
2.8.2 Hukum Kekekalan Massa (Hukum Lavoiser).....	24
2.8.3 Persamaan-Persamaan Gas Ideal.....	24
2.9 Prinsip Kerja Karburator.....	25
2.10 Sistem Pengapian AC Pada Sepeda Motor.....	29
2.10.1 Flywheel Magneto dan Alternator.....	31
2.10.2 Koil Pengapian (Ignition Coil).....	32
2.10.3 Busi.....	34
2.10.4 CDI (<i>Capacitor Discharge Ignition</i>).....	35
2.10.5 Dioda.....	37
BAB 3 Metode Penelitian.....	40
3.1 Penelitian.....	40
3.2 Alat Uji.....	40
3.3 Skematik Pengujian.....	46
3.3.1 Pengukuran Posisi Derajat Waktu Pengapian.....	50
3.3.2 Pengukuran Laju Gas Hidrogen.....	54
3.4 Prosedur Pengujian dan Pengambilan Data.....	55
3.4.1 Prosedur Pengujian Konsumsi Bahan Bakar Dengan Uji Jalan.....	55
3.4.2 Prosedur Pengujian Emisi Kendaraan Hasil Pembakaran.....	58
3.4.3 Prosedur Pengujian Daya dan Torsi Kendaraan.....	61
Bab 4 Pengolahan Data dan Analisis.....	63
4.1 Laju Produksi Gas Hidrogen.....	63
4.2 Perhitungan Keseimbangan Energi.....	64
4.3 Hasil Pengujian dan Efisiensi Bahan Bakar.....	65

4.4 Analisis Emisi Gas Buang.....	77
4.4.1 Analisis Kandungan CO Pada Gas Buang.....	77
4.4.2 Analisis Kandungan CO ₂ Pada Gas Buang.....	82
4.4.3 Analisis Kandungan HC Pada Gas Buang.....	88
4.4.4 Analisis kandungan O ₂ Pada Gas Buang.....	93
4.5 Analisis Daya Keluaran dan Torsi.....	98
Bab 5 Kesimpulan dan Saran.....	112
5.1 Kesimpulan.....	112
5.2 Saran.....	113
Daftar Pustaka.....	114
Lampiran	



DAFTAR GAMBAR

GAMBAR 1.1 GRAFIK PENINGKATAN KONSENTRASI KARBON DIOKSIDA DI ATMOSFER I	
GAMBAR 1.2 SIKLUS H ₂ O.....	2
GAMBAR 1.3 BAHAN BAKAR HIDROGEN MEMENUHI TIGA KOMPONEN.....	3
GAMBAR 2.1 NIKOLAUS OTTO	7
GAMBAR 2.2 PROSES KERJA MOTOR OTTO EMPAT LANGKAH.....	9
GAMBAR 2.3 DIAGRAM P-V DAN T-S IDEAL MOTOR OTTO EMPAT LANGKAH	10
GAMBAR 2.4 IKATAN KIMIA AIR.....	20
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, KECEPATAN TINGGI FLUIDA	27
GAMBAR 2.8 SKEMA SEDERHANA KARBURATOR.....	27
GAMBAR 2.9 SISTEM PENGAPIAN AC SEPEDA MOTOR 4 LANGKAH	31
GAMBAR 2.10 KONSTRUKSI FLYWHEEL MAGNETO DAN ALTERNATOR.....	32
GAMBAR 2.11 KOIL PENGAPIAN	33
GAMBAR 2.12 BUSI.....	34
GAMBAR 2.13 SKEMA CDI.....	36
GAMBAR 2.14 LAMBANG DIODA.....	37
GAMBAR 2.15 KAKI DIODA.....	38
GAMBAR 2.16 LAMBANG DIODA ZENER.....	38
GAMBAR 2.17 LAMBANG LED (LIGHT EMITTING DIODES)	39
GAMBAR 3.1 SEPEDA MOTOR HONDA SUPRA FIT 100 CC	41
GAMBAR 3.2 UNIT TABUNG REAKTOR.....	42
GAMBAR 3.3 ALAT UJI FLOWMETER GAS.....	42
GAMBAR 3.4 TECHNOTEST 488 PLUS GAS ANALYZER	43
GAMBAR 3.5 DYNOJET	44
GAMBAR 3.6 DUDUKAN/TEMPAT REAKTOR.....	46
GAMBAR 3.7 SKEMA ALAT UJI TANPA GAS HIDROGEN.....	48
GAMBAR 3.8 SKEMA ALAT UJI DENGAN DITAMBAH GAS HIDROGEN	48
GAMBAR 3.9 POSISI INJEKSI GAS ELEKTROLISA AIR PADA INTAKE MANIFOLD	49
GAMBAR 3.10 CDI DIGITAL UNTUK MENGATUR POSISI DERAJAT	49
GAMBAR 3.11 SKEMA PEMASANGAN ALAT UJI POSISI DERAJAT PENGAPIAN	50
GAMBAR 3.12 SKEMA PEMASANGAN CDI DIGITAL BRT.....	51
GAMBAR 3.13 KURVA PENGAPIAN MAP 1	52
GAMBAR 3.14 KURVA PENGAPIAN MAP 2	53
GAMBAR 3.15 KURVA PENGAPIAN MAP 3	53
GAMBAR 3.16 KURVA PENGAPIAN MAP 4	54
GAMBAR 3.17 SKEMA PENGUKURAN VOLUME GAS HASIL ELEKTROLISA	54
GAMBAR 4.1 DIAGRAM LAJU PRODUKSI GAS HIDROGEN.....	63
GAMBAR 4.2 GRAFIK KONSUMSI BAHAN BAKAR PREMIUM.....	66

GAMBAR 4.3 DIAGRAM PENGHEMATAN BAHAN BAKAR PREMIUM.....	68
GAMBAR 4.4 DIAGRAM EFISIENSI PENGHEMATAN BAHAN BAKAR PREMIUM	69
GAMBAR 4.5 GRAFIK KONSUMSI BAHAN BAKAR PERTAMAX.....	70
GAMBAR 4.6 DIAGRAM PENGHEMATAN BAHAN BAKAR PERTAMAX	72
GAMBAR 4.7 DIAGRAM EFISIENSI PENGGUNAAN BAHAN BAKAR PERTAMAX	73
GAMBAR 4.8 GRAFIK KONSUMSI BAHAN BAKAR PREMIUM DAN PERTAMAX.....	76
GAMBAR 4.9 GRAFIK KANDUNGAN CO BAHAN BAKAR PREMIUM.....	77
GAMBAR 4.10 GRAFIK KANDUNGAN CO UNTUK BAHAN BAKAR PERTAMAX	79
GAMBAR 4.11 GRAFIK KADAR CO BAHAN BAKAR PREMIUM DAN PERTAMAX....	81
GAMBAR 4.12 GRAFIK KANDUNGAN CO ₂ BAHAN BAKAR PREMIUM.....	83
GAMBAR 4.13 GRAFIK KANDUNGAN CO ₂ BAHAN BAKAR PERTAMAX	84
GAMBAR 4.14 GRAFIK KADAR CO ₂ BAHAN BAKAR PREMIUM DAN PERTAMAX....	87
GAMBAR 4.15 GRAFIK KANDUNGAN HC BAHAN BAKAR PREMIUM	88
GAMBAR 4.16 GRAFIK KANDUNGAN HC BAHAN BAKAR PERTAMAX.....	89
GAMBAR 4.17 GRAFIK KADAR HC BAHAN BAKAR PREMIUM DAN PERTAMAX	92
GAMBAR 4.18 GRAFIK KANDUNGAN O ₂ BAHAN BAKAR PREMIUM.....	94
GAMBAR 4.19 GRAFIK KANDUNGAN O ₂ BAHAN BAKAR PERTAMAX	95
GAMBAR 4.20 GRAFIK KADAR O ₂ BAHAN BAKAR PREMIUM DAN PERTAMAX	97
GAMBAR 4.21 GRAFIK BHP DAN TORSI MAP 1 TANPA GAS HIDROGEN PREMIUM.....	99
GAMBAR 4.22 GRAFIK BHP DAN TORSI MAP 2 TANPA GAS HIDROGEN PREMIUM....	100
GAMBAR 4.23 GRAFIK BHP DAN TORSI MAP 3 TANPA GAS HIDROGEN PREMIUM	100
GAMBAR 4.24 GRAFIK BHP DAN TORSI MAP 4 TANPA GAS HIDROGEN PREMIUM....	101
GAMBAR 4.25 GRAFIK BHP DAN TORSI MAP 1 + GAS HIDROGEN PREMIUM.....	102
GAMBAR 4.26 GRAFIK BHP DAN TORSI MAP 2 + GAS HIDROGEN PREMIUM	102
GAMBAR 4.27 GRAFIK BHP DAN TORSI MAP 3 + GAS HIDROGEN PREMIUM	103
GAMBAR 4.28 GRAFIK BHP DAN TORSI MAP 4 + GAS HIDROGEN PREMIUM	104
GAMBAR 4.29 GRAFIK BHP DAN TORSI MAP 1 TANPA GAS HIDROGEN PERTAMAX...104	
GAMBAR 4.30 GRAFIK BHP DAN TORSI MAP 2 TANPA GAS HIDROGEN PERTAMAX...105	
GAMBAR 4.31 GRAFIK BHP DAN TORSI MAP 3 TANPA GAS HIDROGEN PERTAMAX...106	
GAMBAR 4.32 GRAFIK BHP DAN TORSI MAP 4 TANPA GAS HIDROGEN PERTAMAX...106	
GAMBAR 4.33 GRAFIK BHP DAN TORSI MAP 1 + GAS HIDROGEN PERTAMAX	107
GAMBAR 4.34 GRAFIK BHP DAN TORSI MAP 2 + GAS HIDROGEN PERTAMAX	108
GAMBAR 4.35 GRAFIK BHP DAN TORSI MAP 3 + GAS HIDROGEN PERTAMAX	108
GAMBAR 4.36 GRAFIK BHP DAN TORSI MAP 4 + GAS HIDROGEN PERTAMAX	109

DAFTAR TABEL

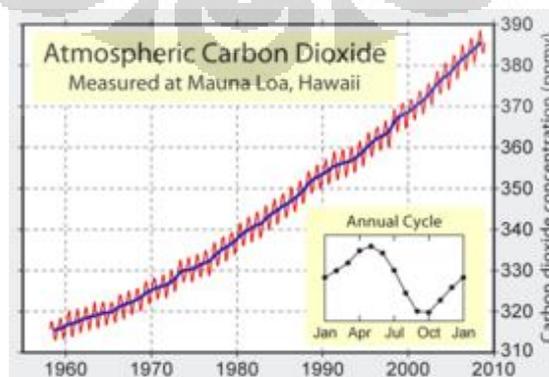
TABEL 2.1 SIFAT-SIFAT AIR.....	19
TABEL 2.2 SIFAT KIMIA DAN FISIKA HIDROGEN.....	21
TABEL 2.3 NILAI OKTAN BERBAGAI BAHAN BAKAR.....	22
TABEL 2.4 SIFAT KIMIA DAN FISIKA OKSIGEN.....	23
TABEL 4.1 TABEL EFISIENSI RATA-RATA PENGHEMATAN BAHAN BAKAR PREMIUM....	69
TABEL 4.2 TABEL EFISIENSI RATA-RATA PENGHEMATAN BAHAN BAKAR PERTAMAX..	73
TABEL 4.3 TABEL EFISIENSI RATA-RATA PERBANDINGAN PERTAMAX DAN PREMIUM..	74
TABEL 4.4 PERBANDINGAN PERFORMA PERTAMAX DAN PREMIUM PADA KADAR CO. ₂	80
TABEL 4.5 PERBANDINGAN PERFORMA PERTAMAX DAN PREMIUM PADA KADAR CO ₂	85
TABEL 4.6 PERBANDINGAN PERFORMA PERTAMAX DAN PREMIUM PADA KADAR HC.	91
TABEL 4.7 PERBANDINGAN PERFORMA PERTAMAX DAN PREMIUM PADA KADAR O ₂	96
TABEL 4.8 PERBANDINGAN BHP DAN TORSI PERTAMAX DAN PREMIUM.....	110

BAB 1 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 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 CO₂ 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

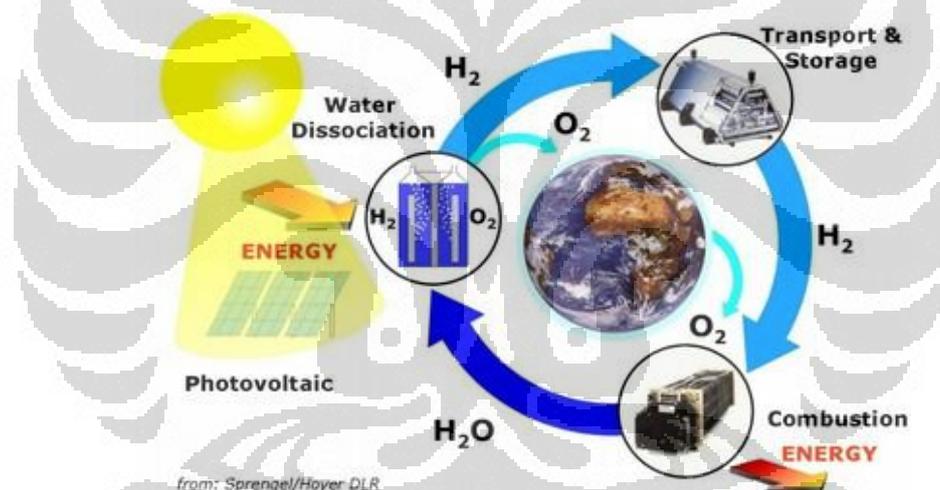
Selain masalah tersebut BBM juga memiliki masalah lain yaitu gas hasil pembakaran yang mencemari udara, seperti yang kita ketahui bersama efek rumah kaca (*green house effect*) merupakan dampak dari polusi udara dunia yang semakin hari semakin bertambah parah.



Gambar 1.1. Grafik peningkatan konsentrasi karbon dioksida di atmosfer

Sumber: http://id.wikipedia.org/wiki/Pemanasan_global

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 dibalik penemuan BBA. Hal tersebut menuai kontroversi apakah benar air dapat dijadikan bahan bakar yang dapat diandalkan. Sehingga langkah-langkah kami dalam membuktikan hal tersebut menjadi sangat menarik.

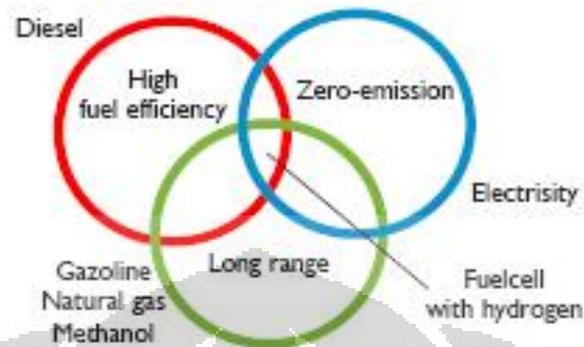


Gambar 1.2 Siklus H₂O.

Sumber: Sprengel/Hoyer DLR

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

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



Gambar 1.3 Bahan Bakar Hidrogen Memenuhi Tiga Komponen Vital .

Sumber: www.wikipedia.org

1.2 Permasalahan

Menggunakan gas hasil elektrolisa air untuk mengurangi porsi penggunaan bahan bakar cair dapat lebih dioptimalkan dengan memajukan waktu pengapian (*ignition timing*) kendaraan bermotor roda dua. Memajukan waktu pengapian kendaraan dilakukan dengan menggunakan *programmable CDI (Capacitor Discharge Ignition)* yang dapat mengubah posisi derajat pengapian. Memajukan waktu pengapian membuat pengapian kendaraan akan menyala lebih cepat sehingga pembakaran campuran gas elektrolisa dan bahan bakar bisa terbakar lebih cepat. Keadaan ini bisa membuat pembakaran lebih sempurna dan tenaga kendaraan bertambah karena gas hasil elektrolisa mempunyai sifat yang mudah terbakar.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penulisan ini adalah:

- Membuktikan bahwa gas hasil elektrolisa air dapat digunakan sebagai bahan bakar yang dapat mempengaruhi pembakaran di ruang bakar.
- Mengaplikasikan langsung penggunaan gas hasil elektrolisa air dalam kondisi nyata, yaitu dengan melakukan uji jalan kendaraan.

- Membandingkan dan mengetahui jumlah penghematan yang dapat diperoleh pada kendaraan bermotor dengan diberi gas elektrolisa air dengan uji jalan.
- Membandingkan dan mengetahui perubahan komposisi gas buang pada kendaraan bermotor setelah penambahan gas hasil elektrolisa air
- Membandingkan dan mengetahui daya dan torsi yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor setelah diberikan gas hasil elektrolisa dan dimajukan waktu pengapiannya

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 elektrolisa air pada sistem bahan bakar untuk mengetahui tingkat konsumsi, prestasi mesin, dan kualitas emisi yang dihasilkan.
- Parameter-parameter yang diamati saat penelitian hanyalah pada konsumsi bahan bakar, parameter prestasi mesin berupa daya keluaran dan torsi kendaraan, serta kandungan emisi gas buang (HC, O₂, CO, CO₂).
- Pada penelitian ini hanya mengkaji jumlah gas H₂ dan O₂ secara total yang dihasilkan oleh elektrolisa air, bukan secara parsial.
- Reaktor elektrolisa menggunakan 8 pelat elektroda; 4 positif dan 4 negatif
- Sumber energi untuk menghasilkan gas hasil elektrolisa 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 elektrolisa air, dasar teori motor bakar, teori dynamometer, teori dioda, dan teori CDI (*Capacitor Discharge Ignition*)

BAB III, METODE PENELITIAN

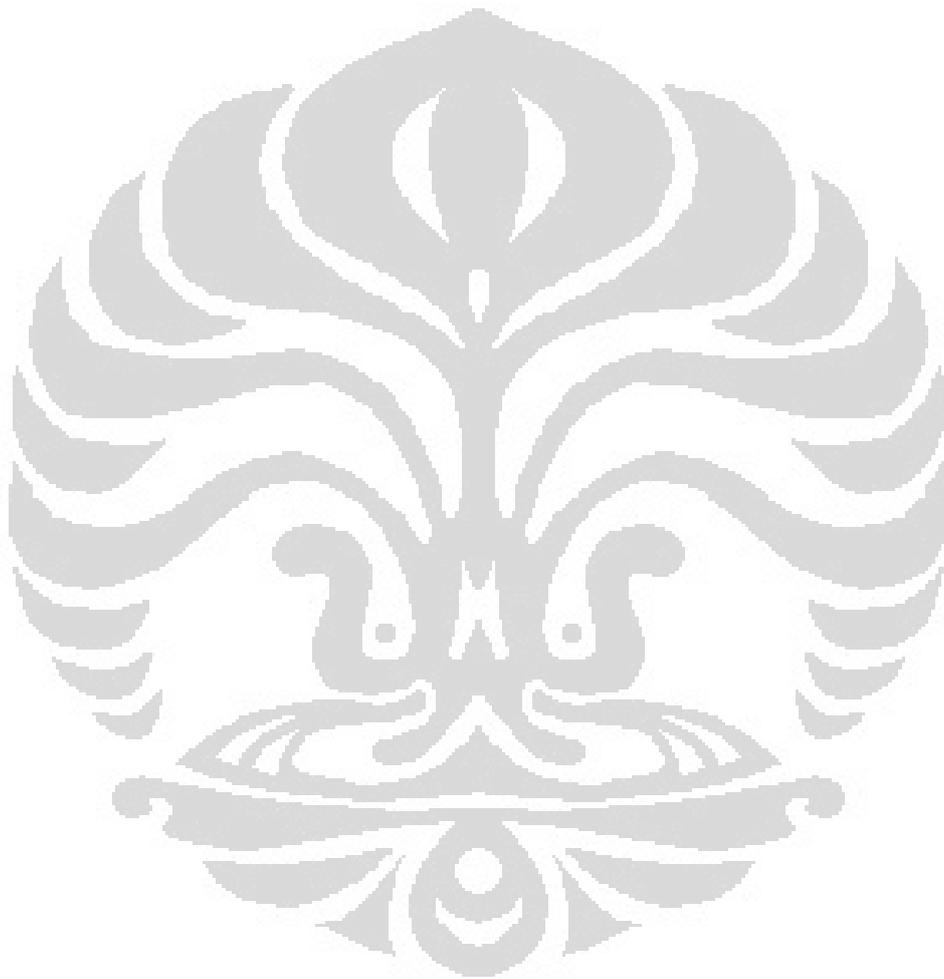
Bab ini membahas skema alat pengujian, prosedur dan metoda dalam pengujian dan pengambilan data untuk melihat unjuk kerja sistem yang telah dibuat.

BAB IV, HASIL DAN ANALISA

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

BAB V, KESIMPULAN

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



BAB 2 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 penyalaan 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

Sumber : Buku Motor Pembakaran Dalam, Bambang Sugiarto
ISBN 979-97726-7-2

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

2.2 Siklus Kerja Motor Otto

Komponen-komponen utama dari sebuah motor Otto adalah:

1. Katup Masuk (*intake valve*)

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

2. Katup Buang (*exhaust valve*)

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

3. Torak

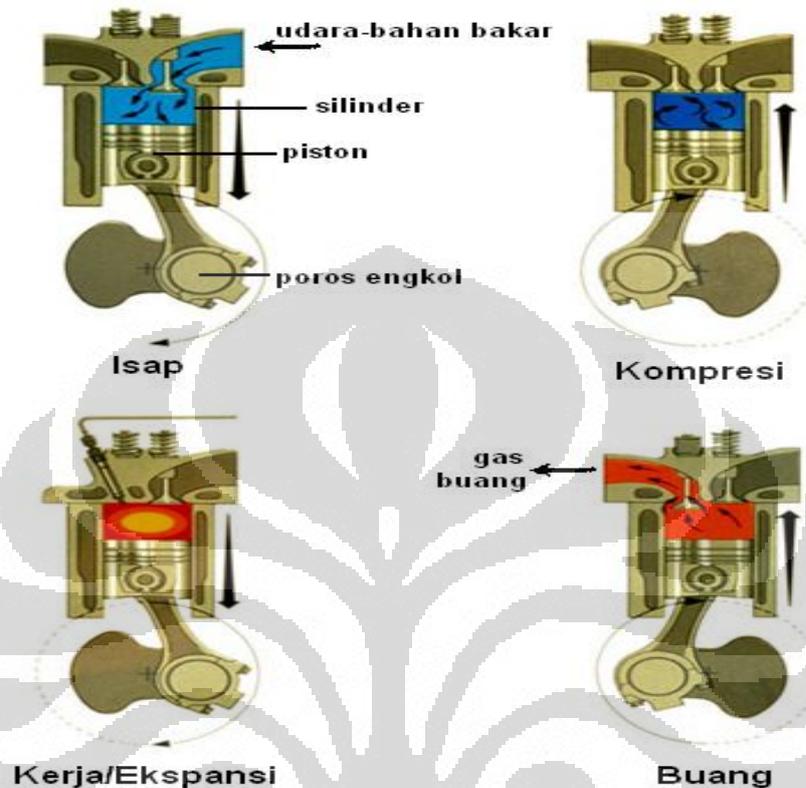
Torak adalah komponen berbentuk silinder yang bergerak naik turun di dalam silinder, dan berfungsi untuk mengubah tekanan di dalam ruang bakar menjadi gerak rotasi poros engkol.

4. Busi

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

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

yang terdapat pada motor bensin 4 langkah adalah langkah isap, kompresi, kerja, dan buang.

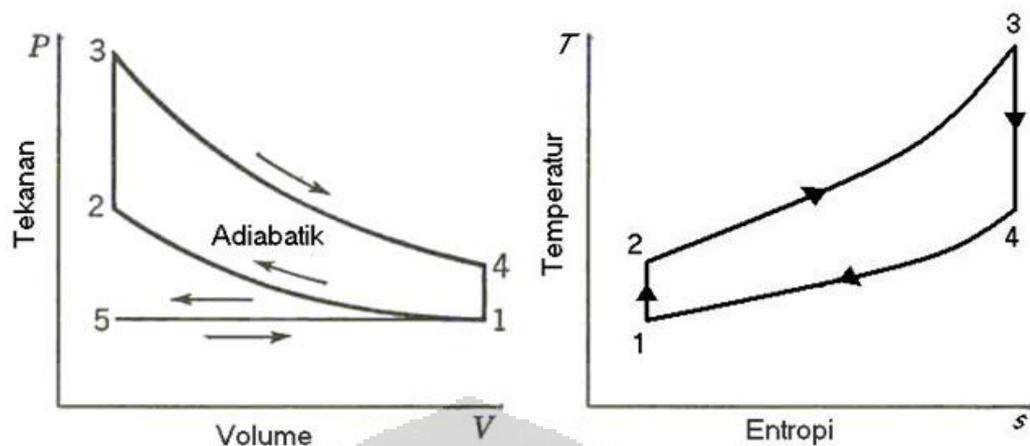


Gambar 2.2 Proses Kerja Motor Otto Empat Langkah

Sumber: www.bankspowder.com

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

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



Gambar 2.3 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 terus bergerak kembali menuju TMA sehingga gas hasil pembakaran tertekan keluar dari ruang bakar melalui katup buang.

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

Proses 1-2 kerja kompresi isentropik :

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

Proses 2-3 pemasukan kalor pada volume konstan

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

Proses 3-4 kerja ekspansi isentropik yang dihasilkan

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

Proses 4-1 pengeluaran gas buang pada volume konstan

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

Dari perhitungan diatas didapat

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

besarnya efisiensi termal :

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

2.3 Parameter Prestasi Mesin

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

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

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

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)

ρ_f = massa jenis bahan bakar (kg/m³)

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)

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

4. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (BSFC)

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

keterangan :

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

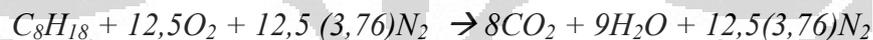
BFC = konsumsi bahan bakar (l/h)

BHP = daya keluaran mesin (hp)

ρ_f = massa jenis bahan bakar (kg/m^3)

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 di dapat dari perbandingan %vol N_2 dengan %vol O_2 pada udara bebas yaitu $79\% / 21\% = 3,76$ dengan menganggap gas lainnya seperti argon, CO_2 dan lainnya sangat kecil.

Reaksi pembakaran tersebut terjadi di dalam ruang bakar pada tekanan dan suhu yang tinggi. Motor Bakar Dalam yang baik mempunyai komposisi gas buang berupa CO_2 , H_2O , N_2 seperti reaksi 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 diatas terjadi sempurna maka perbandingannya :

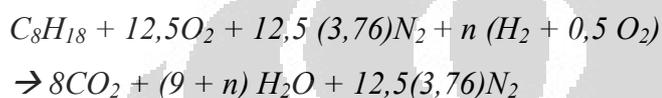
Massa bahan bakar (m_f) adalah 1 kmol (114 kg/kmol) = 114 kg. Massa udara (m_a) adalah 12,5 (4,76) kmol (29 kg/kmol) = 1725,5 kg , sehingga AFR untuk reaksi tersebut

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

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

2.4.1 Pembakaran dengan Penambahan Gas Elektrolisa

Dalam percobaan yang dilakukan dengan penambahan gas elektrolisa air, bahan bakar yang masuk ke ruang bakar bukan hanya bensin saja melainkan bensin dan gas elektrolisa air ($H_2 + 0,5 O_2$) dan dengan asumsi bahwa jumlah gas $H_2 + O_2$ yang di hasilkan reaktor elektrolisa air adalah proporsional, maka stoikiometri pembakaran yang terjadi adalah:



Dengan menambah sejumlah $n H_2 + 0,5 O_2$, dimana nilai n adalah jumlah mol gas elektrolisa yang masuk ke ruang bakar. Penambahan gas elektrolisa ini secara ideal tidak mempengaruhi AFR standarnya, karena oksidator gas H_2 telah seimbang dari yang dihasilkan oleh reaktor elektrolisa air.

2.5 Terbentuknya Polutan pada Aliran Gas Buang

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

2.5.1 Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida selalu terdapat didalam gas buang pada saat proses penguraian dan hanya ada pada knalpot kendaraan. CO merupakan produk dari pembakaran yang tidak tuntas yang disebabkan karena tidak seimbangnya jumlah udara pada rasio udara-bahan bakar (AFR) atau waktu penyelesaian pembakaran yang tidak tepat. Pada campuran kaya, konsentrasi CO akan meningkat dikarenakan pembakaran yang tidak sempurna untuk menghasilkan CO₂. Pada

beberapa hasil, konsentrasi CO yang terukur lebih besar dari konsentrasi kesetimbangan. Hal ini mengindikasikan bahwa terjadi pembentukan yang tidak sempurna pada langkah ekspansi (Benson).

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

Persentase CO pada gas buang meningkat pada saat *idle* dan menurun seiring dengan bertambahnya kecepatan dan pada saat kecepatan konstan. Pada saat perlambatan dimana terjadi penutupan *throttle* yang menyebabkan berkurangnya suplai oksigen ke mesin akan mengakibatkan tingginya kadar CO yang dihasilkan.

2.5.2 Hidro Karbon (HC)

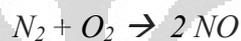
Emisi hidro karbon yang tidak terbakar merupakan hal berkaitan langsung dengan pembakaran yang tidak sempurna. Bentuk emisi hidro karbon dipengaruhi oleh banyak variabel disain dan operasi. Salah satunya dapat disebabkan karena penyalaan yang tidak stabil (*misfire*). Oksidasi dari hidro karbon merupakan 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 kearah 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 temperature campuran, tekanan, AFR, temperature permukaan dinding dan endapan pembakaran. Besarnya konsentrasi hidro karbon didalam gas buang sama dengan besar konsentrasi CO, yaitu tinggi pada saat campuran kaya dan berkurang pada titik temperatur tertinggi.

2.5.3 Nitrogen Oksida (NO_x)

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

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



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

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

2.5.4 Udara Berlebih (*Excess Air*)

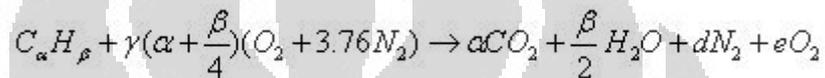
Perhitungan-perhitungan pembakaran harus terkait dengan persyaratan perlengkapan pembakaran aktual di mana perlengkapan tersebut masih layak pakai. Nilai udara stoikiometri mendefinisikan suatu proses pembakaran dengan efisiensi 100%, sehingga tidak ada lagi udara yang terbuang. Pada kenyataannya, untuk 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.

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

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

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



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

2.6 Elektrolisa Air

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

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

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

2.6.1 Pelepasan dan Penangkapan Elektron

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

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

Oksidasi adalah reaksi pelepasan elektron.

Contoh reaksi oksidasi :



Reduksi adalah reaksi penerimaan atau penangkapan elektron.

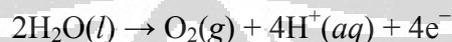
Contoh reaksi reduksi :



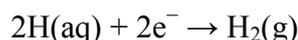
Pada reaksi oksidasi, elektron berada di ruas kanan

Pada reaksi reduksi, elektron berada di ruas kiri

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



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



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



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

Reduktor = Zat yang mengalami oksidasi

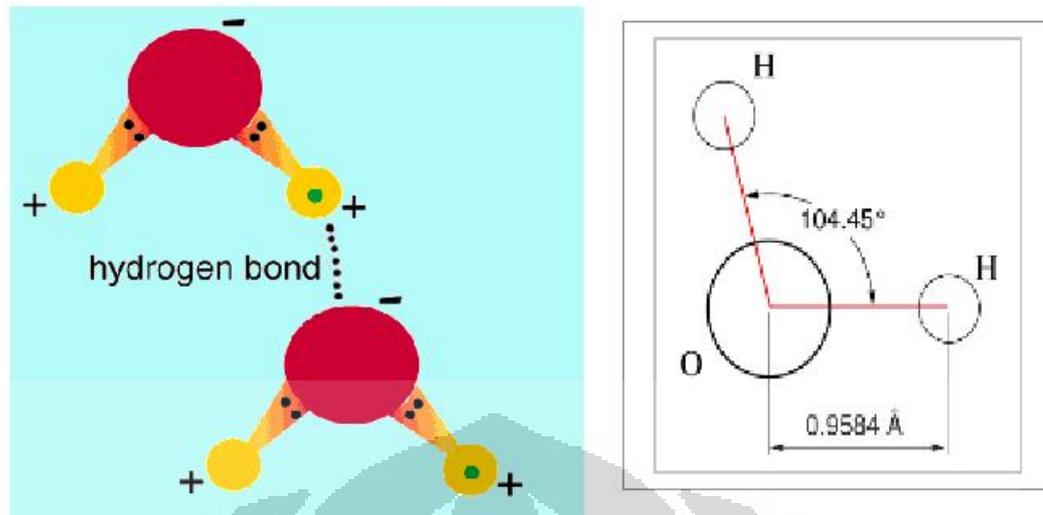
Oksidator = Zat yang mengalami reduksi

2.7 Karakteristik Air

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

Tabel 2.1 Sifat-sifat air

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



Gambar 2.4 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% H₂ 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

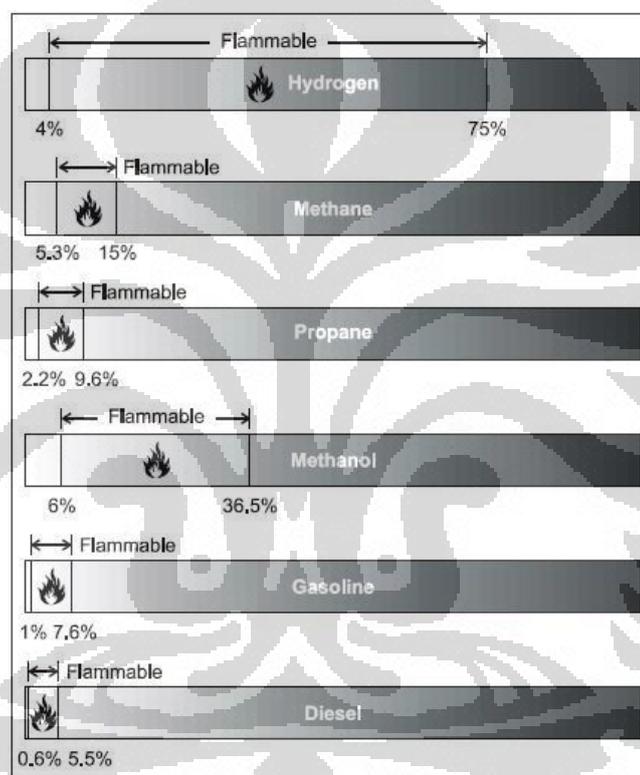
Sifat kimia dan fisika hidrogen	
Fase Massa jenis	gas
Massa jenis	(0°C;101,325kPa) 0,08988 g/L
Titik lebur	14,01 K (-259,14 °C, -434,45°F)
Titik didih	20,28 K (-252,87 °C, -423,17 °F)
Kalor peleburan	(H ₂) 0,117 kJ/mol
Kapasitas kalor	(25 °C) (H ₂) 28,836 J/(mol·K)
Suhu kritis	32,19 K
Tekanan kritis	1,315 Mpa
Densitas kritis	30,12 g/L

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

Tabel 2.3 Nilai Oktan Berbagai Bahan Bakar

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

Sumber: www.ingenuitycreations.com



Gambar 2.5 Sifat Kemampuan Bakar Berbagai Jenis Bahan Bakar

Sumber: www.ingenuitycreations.com

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

2.7.2 Oksigen

Oksigen atau zat asam adalah unsur kimia dalam sistem tabel periodik yang mempunyai lambang O dan nomor atom 8. Elemen sangat biasa dan ada di

mana-mana, ditemukan tak hanya di bumi tetapi di seluruh alam semesta. Di bumi, ia biasanya berikatan dengan elemen lain secara kovalen atau ionik. Oksigen adalah satu dari dua komponen utama udara. Ia dihasilkan oleh tanaman selama fotosintesis, dan sangat diperlukan untuk pernafasan aerobik pada hewan dan manusia.

Tabel 2.4 Sifat Kimia Dan Fisika Oksigen

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

2.8 Hukum-Hukum Fisika dan Kimia

2.8.1 Hukum Kekekalan Energi

"Energi tidak dapat diciptakan dan juga tidak dapat dimusnahkan"

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

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

Keterangan:

E_m = energi mekanik

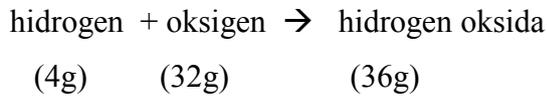
E_p = energi potensial

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

** Hukum Boyle –Gay Lussac*

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

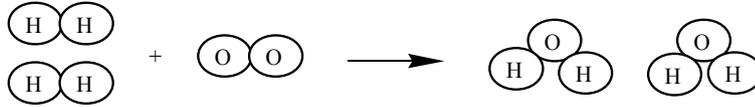
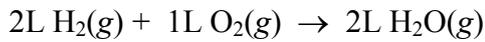
$$P_1 \cdot V_1 / T_1 = P_2 \cdot V_2 / T_2 \dots\dots\dots (2.8)$$

** Hukum Avogadro*

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

Contoh :

Pada pembentukan molekul H₂O



2 molekul H₂ 1 molekul O₂ 2 molekul H₂O

* *Hukum Faraday elektrolisa air*

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

Rumus:

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

$$F = 96.500$$

$$q = i \cdot t$$

m = massa zat yang dihasilkan (gram)

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

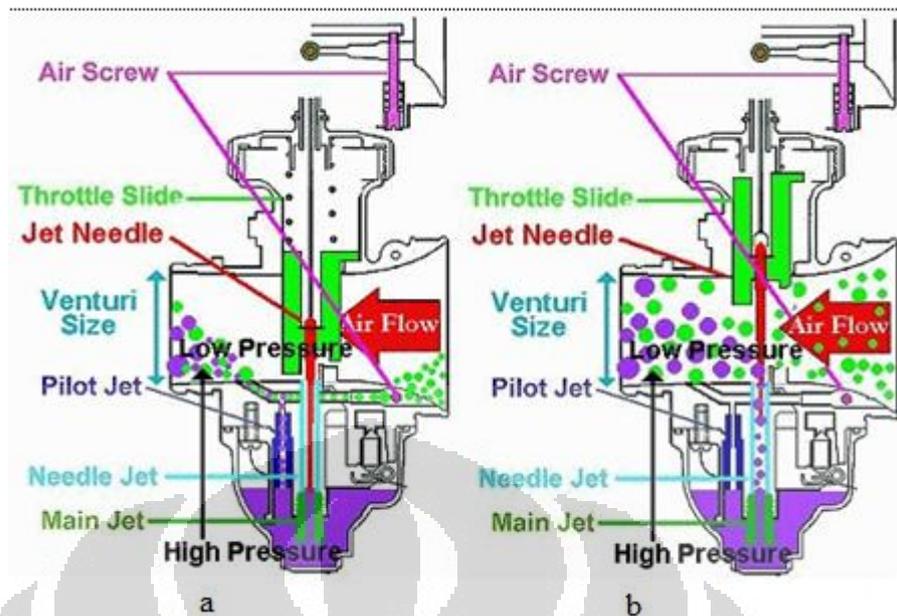
i = kuat arus listrik (amper)

t = waktu (detik)

q = muatan listrik (coulomb)

2.9 Prinsip Kerja Karburator

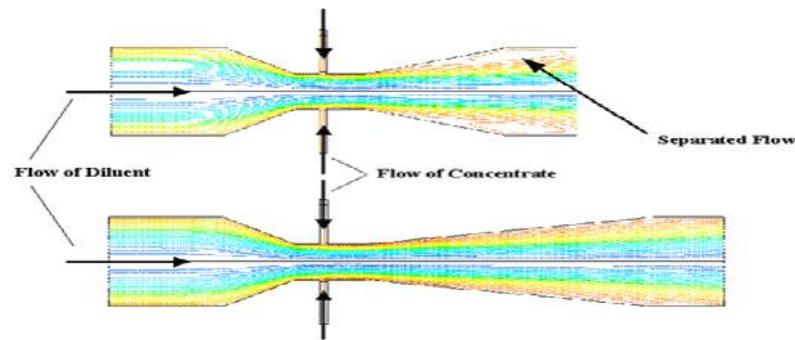
Karburator adalah bagian penting dari motor bakar. Karburator merupakan sebuah alat yang berfungsi untuk mengabutkan bahan bakar cair dan mencampur udara dengan bahan bakar cair tersebut. Idealnya, karburator harus mencampur bahan bakar cair dengan udara dengan perbandingan sekitar 14,7:1, dengan kata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



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

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

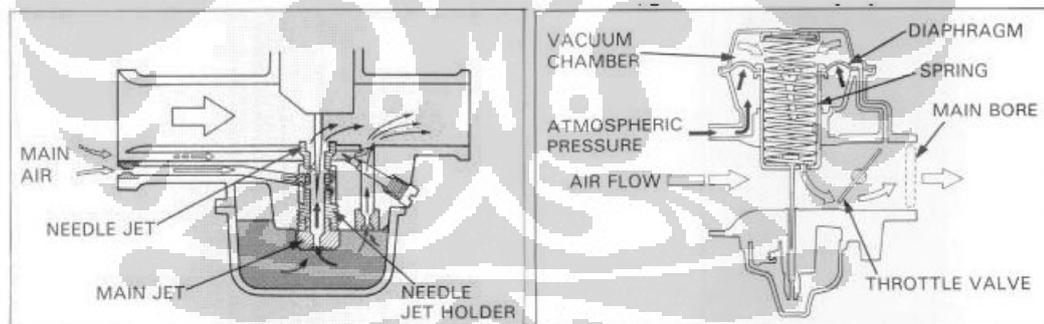
Karburator bekerja menggunakan prinsip kerja bernouli: semakin cepat udara bergerak, semakin kecil tekanan statisnya, dan semakin besar tekanan dinamiknya. Pengemudi kendaraan menaikkan dan menurunkan kecepatan putar mesin dengan menggunakan *throttle*, namun *throttle* tidak secara langsung mengontrol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



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

Sumber: www.processinnovation.com/venturi.htm

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



Gambar 2.8 Skema Sederhana Karburator

Sumber: 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 di kabutkan 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 Sistem Pengapian Ac pada Sepeda Motor

Sistem pengapian pada motor bensin berfungsi mengatur proses pembakaran campuran bensin dan udara di dalam silinder sesuai waktu yang sudah ditentukan yaitu pada akhir langkah kompresi. Permulaan pembakaran diperlukan karena pada motor bensin pembakaran tidak bisa terjadi dengan sendirinya. Pembakaran campuran bensin-udara yang dikompresikan terjadi di dalam silinder setelah busi memercikkan bunga api, sehingga diperoleh tenaga akibat pemuai gas (eksplosif) hasil pembakaran, mendorong piston ke TMB menjadi langkah usaha. Agar busi dapat memercikkan bunga api, maka diperlukan suatu sistem yang bekerja secara akurat. Sistem pengapian terdiri dari berbagai komponen, yang bekerja bersama-sama dalam waktu yang sangat cepat dan singkat.

Saat pengapian dari campuran bensin dan udara adalah saat terjadinya percikan bunga api busi beberapa derajat sebelum Titik Mati Atas (TMA) pada akhir langkah kompresi. Saat terjadinya percikan waktunya harus ditentukan dengan tepat supaya dapat membakar dengan sempurna campuran bensin dan udara agar dicapai energi maksimum. Setelah campuran bahan bakar dibakar oleh bunga api, maka diperlukan waktu tertentu bagi api untuk merambat di dalam ruangan bakar. Oleh sebab itu akan terjadi sedikit keterlambatan antara awal pembakaran dengan pencapaian tekanan pembakaran maksimum. Dengan demikian, agar diperoleh output maksimum pada engine dengan tekanan pembakaran mencapai titik tertinggi (*sekitar 10^0 setelah TMA*), periode

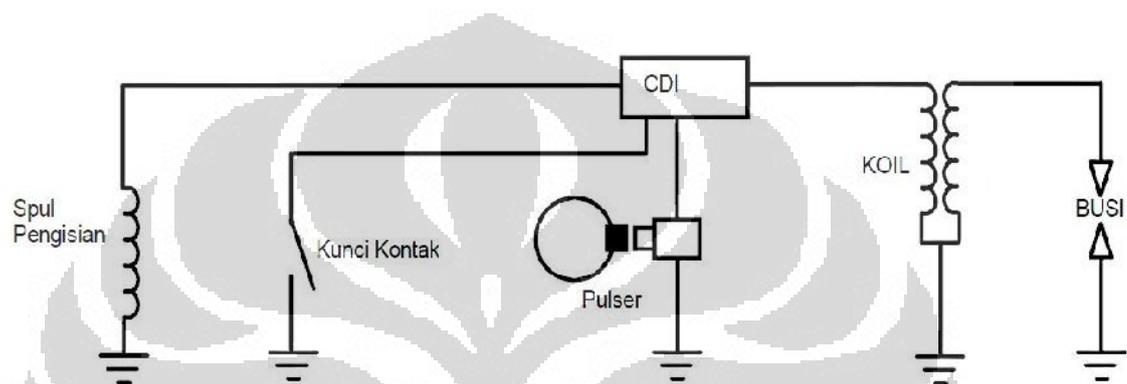
perambatan api harus diperhitungkan pada saat menentukan saat pengapian (*ignition timing*).

Karena diperlukannya waktu untuk perambatan api, maka campuran bahan bakar dan udara harus sudah dibakar sebelum TMA. Saat mulai terjadinya pembakaran campuran bahan bakar dan udara tersebut disebut dengan saat pengapian (*ignition timing*). agar saat pengapian dapat disesuaikan dengan kecepatan, beban mesin dan lainnya, diperlukan peralatan untuk merubah (memajukan atau memundurkan) saat pengapian. Salah satu diantaranya adalah dengan menggunakan *vacuum advancer* dan *governor advancer* untuk pengapian konvensional. Dalam sepeda motor biasanya disebut dengan unit pengatur saat pengapian otomatis atau ATU (*Automatic Timing Unit*). ATU akan mengatur pemajuan saat pengapian. Pada sepeda motor dengan sistem pengapian konvensional (menggunakan platina) ATU diatur secara mekanik sedangkan pada sistem pengapian elektronik ATU diatur secara elektronik.

Bila saat pengapian dimajukan terlalu jauh maka tekanan pembakaran maksimum akan tercapai sebelum 10^0 sesudah TMA. Karena tekanan di dalam silinder akan menjadi lebih tinggi dari pada pembakaran dengan waktu yang tepat, pembakaran campuran udara bahan bakar yang spontan akan terjadi dan akhirnya akan terjadi *knocking* atau *detonasi*. *Knocking* merupakan ledakan yang menghasilkan gelombang kejutan berupa suara ketukan karena naiknya tekanan yang besar dan kuat yang terjadi pada akhir pembakaran. *Knocking* yang berlebihan akan mengakibatkan katup, busi dan torak terbakar. Saat pengapian yang terlalu maju juga bisa menyebabkan suhu mesin menjadi terlalu tinggi. Sedangkan bila saat pengapian dimundurkan terlalu jauh maka tekanan pembakaran maksimum akan terjadi setelah 10^0 setelah TMA (saat dimana torak telah turun cukup jauh). Bila dibandingkan dengan pengapian yang waktunya tepat, maka tekanan di dalam silinder agak rendah sehingga output mesin menurun, dan masalah pemborosan bahan bakar dan lainnya akan terjadi. Saat pengapian yang tepat dapat menghasilkan tekanan pembakaran yang optimal.

Untuk menjamin tersedianya tegangan pengapian yang tetap tinggi maka diperlukan sistem yang akurat. Sistem pengapian tegangan tinggi menghasilkan percikan bunga api di busi. Bentuk yang paling sederhana

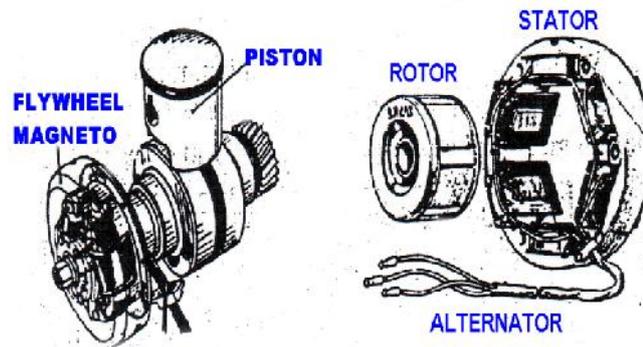
sumber tegangan pengapian adalah dengan menyediakan *source coil* (koil sumber pengapian) yang tergabung langsung dengan generator utama (alternator atau *flywheel magneto*). Keuntungannya adalah sumber tegangan tidak dipengaruhi oleh beban sistem kelistrikan mesin. Sedangkan kekurangannya adalah pada kecepatan mesin rendah, seperti pada saat menghidupkan (starting) mesin, tegangan yang keluar dari koil sumber berkemungkinan tidak cukup untuk menghasilkan percikan yang kuat.



Gambar 2.9 Sistem Pengapian Langsung (AC) Sepeda Motor 4 Langkah

2.10.1 *Flywheel Magneto* dan Alternator

Arus listrik yang dihasilkan oleh alternator atau *flywheel magneto* adalah arus listrik AC (*Alternating Current*). Prinsip kerja alternator dan *flywheel magneto* sebenarnya adalah sama, perbedaannya hanyalah terletak pada penempatan atau konstruksi magnetnya. Pada *flywheel magneto* bagian magnet ditempatkan di sebelah luar spool (kumparan). Magnet tersebut berputar untuk membangkitkan listrik pada spool (kumparan) dan juga sebagai roda gila (*flywheel*) agar putaran poros engkol tidak mudah berhenti atau berat. Sedangkan pada alternator magnet ditempatkan di bagian dalam spool (kumparan). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut :



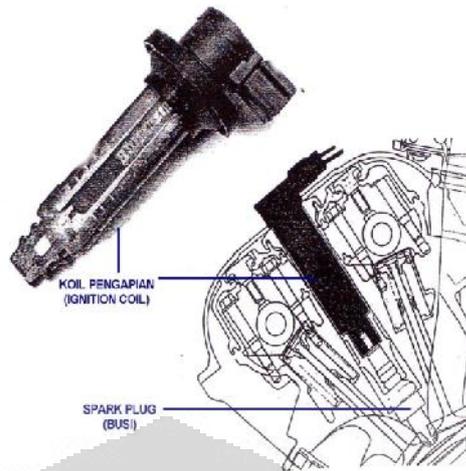
Gambar 2.10 Kontruksi Flywheel Magneto dan Alternator

Pembangkit listrik AC pada sepeda motor baik model alternator ataupun model flywheel magneto terdiri dari beberapa buah kumparan kawat yang berbeda-beda jumlah lilitannya sesuai dengan fungsinya masing-masing, dan akan menghasilkan arus listrik apabila ada kutub- kutub magnet yang mempengaruhi kumparan tersebut. Kutub ini didapat dari rotor magnet yang ditempatkan pada poros engkol, dan biasanya dilengkapi dengan empat atau enam buah magnet permanen dan arus listrik AC yang dihasilkan dapat berubah-ubah sekitar 50 kali per detik (50 cycle per second).

2.10.2 Koil pengapian (*Ignition Coil*)

Untuk menghasilkan percikan, listrik harus melompat melewati celah udara yang terdapat di antara dua elektroda pada busi. Karena udara merupakan isolator (penghantar listrik yang jelek), tegangan yang sangat tinggi dibutuhkan untuk mengatasi tahanan dari celah udara tersebut, juga untuk mengatasi sistem itu sendiri dan seluruh komponen Sistem pengapian lainnya. Koil pengapian mengubah sumber tegangan rendah dari CDI 4-5A 12 V menjadi sumber tegangan tinggi 10 KV atau lebih yang diperlukan untuk menghasilkan loncatan bunga api yang kuat pada celah busi dalam sistem pengapian.

Pada koil pengapian, kumparan primer dan sekunder digulung pada inti besi. Kumparan-kumparan ini akan menaikkan tegangan yang diterima dari CDI menjadi tegangan yang sangat tinggi melalui induksi elektromagnetik. Inti besi (core) dikelilingi kumparan yang terbuat dari baja silicon tipis. Terdapat dua kumparan yaitu sekunder dan primer di mana lilitan primer digulung oleh lilitan sekunder.



Gambar 2.11 Koil Pengapian

Untuk mencegah terjadinya hubungan singkat (*short circuit*) maka antara lapisan kumparan disekat dengan kertas khusus yang mempunyai tahanan sekat yang tinggi. Ujung kumparan primer dihubungkan dengan terminal negatif primer, sedangkan ujung yang lainnya dihubungkan dengan terminal positif primer. Kumparan sekunder dihubungkan dengan cara serupa di mana salah satunya dihubungkan dengan kumparan primer lewat (pada) terminal positif primer yang lainnya dihubungkan dengan tegangan tinggi melalui suatu pasas dan keduanya digulung. Medan magnet akan dibangkitkan pada saat arus mengalir pada gulungan (kumparan) primer. Garis gaya magnet yang dibangkitkan pada inti besi berlawanan dengan garis gaya magnet dalam kumparan primer.

Arus yang mengalir pada rangkaian primer tidak akan segera mencapai maksimum, karena adanya perlawanan oleh induksi diri pada kumparan primer. Diperlukan waktu agar arus maksimum pada rangkaian primer dapat tercapai.

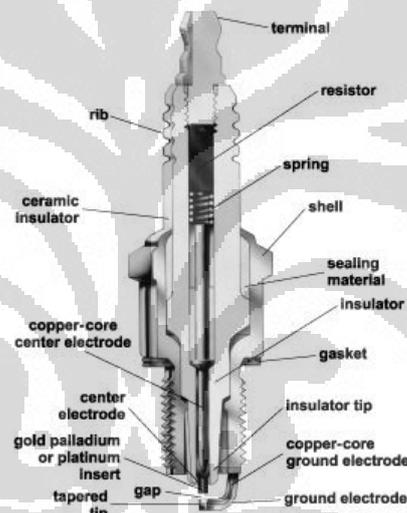
Bila arus mengalir dalam kumparan primer dan kemudian arus tersebut diputuskan tiba-tiba, maka akan dibangkitkan tegangan dalam kumparan primer berupa induksi sendiri sebesar 300 – 400 V, searah dengan arus yang mengalir sebelumnya. Arus ini kemudian mengalir dan disimpan untuk sementara dalam kondensor. Apabila platina menutup kembali maka muatan listrik yang ada dalam kondensor tersebut akan mengalir ke rangkaian, sehingga arus primer segera menjadi penuh.

Jika dua kumparan disusun dalam satu garis (dalam satu inti besi) dan arus yang mengalir kumparan primer dirubah (diputuskan), maka akan terbangkitkan

tegangan pada kumparan sekunder berupa induksi sebesar 10 KV atau lebih. Arahnya berlawanan dengan garis gaya magnet pada kumparan primer.

2.10.3 Busi

Tegangan tinggi yang dihasilkan oleh kumparan sekunder koil pengapian, setelah melalui rangkaian tegangan tinggi akan dikeluarkan diantara elektroda tengah (elektroda positif) dan elektroda sisi (elektroda negatif) busi berupa percikan bunga api. Tujuan adanya busi dalam hal ini adalah untuk mengalirkan pulsa atau arus tegangan tinggi dari tutup (terminal) busi ke bagian elektroda tengah ke elektroda sisi melewati celah udara dan kemudian berakhir ke masa (*ground*).



Gambar 2.12 Busi

Busi merupakan bagian (komponen) sistem pengapian yang bisa habis, dirancang untuk melakukan tugas dalam waktu tertentu dan harus diganti dengan yang baru jika busi sudah aus atau terkikis.

Bagian paling atas dari busi adalah terminal yang menghubungkan kabel tegangan tinggi. Terminal ini berhubungan dengan elektroda tengah yang biasanya terbuat dari campuran nikel agar tahan terhadap panas dan elemen perusak dalam bahan bakar, dan sering mempunyai inti tembaga untuk membantu membuang panas.

Pada beberapa busi elektroda terbuat dari campuran perak, platina, paladium atau emas. Busi-busi ini dirancang untuk memberikan ketahanan terhadap erosi yang lebih besar serta bisa tetap bagus.

Elektroda tengah melewati isolator (penyekat) keramik yang terdapat pada bagian luarnya. Isolator ini berfungsi untuk melindungi elektroda tengah dari kebocoran listrik dan melindungi dari panas mesin. Untuk mencegah kebocoran gas terdapat seal (perapat) antara elektroda tengah dengan isolator dan antara isolator dengan bodi busi.

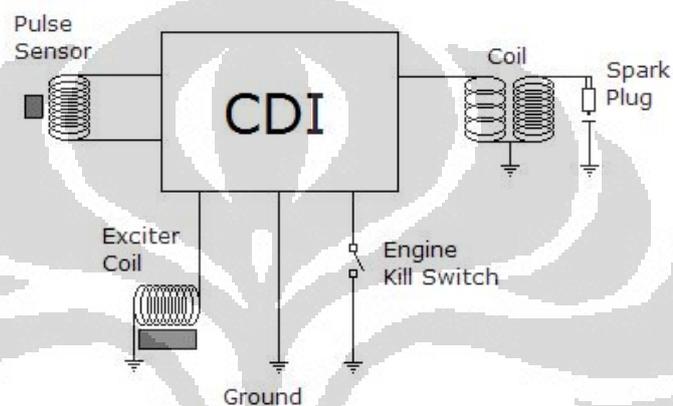
Bodi busi dibuat dari baja dan biasanya diberi pelat nikel untuk mencegah korosi. Bagian atas luar bodi berbentuk hexagon (sudut segi enam) yang berfungsi untuk mengeraskan dan mengendorkan busi. Pada bagian bawahnya dibuat ulir agar busi bisa dipasang ke kepala silinder. Pada bagian ujung bawah busi terdapat elektroda sisi atau elektroda negatif. Elektroda ini dilas ke bodi busi untuk jalur ke masa saat terjadi percikan. Terdapat dua tipeudukan busi yaitu berbentuk datar dan kerucut. Dudukan busi merupakan bagian dari bodi busi pada bagian atas ulir yang akan bertemu/berpasangan dengan kepala silinder. Jika dudukan businya berbentuk datar, maka terdapat cincin perapat, sebaliknya jika dudukannya berbentuk kerucut maka tidak memerlukan cincin perapat.

2.10.4 CDI (*Capacitor Discharge Ignition*)

CDI (*Capacitor Discharge Ignition*) adalah sistem pengapian pada mesin pembakaran dalam dengan memanfaatkan energi yang disimpan didalam kapasitor yang digunakan untuk menghasilkan tegangan tinggi ke koil pengapian sehingga dengan output tegangan tinggi *coil* akan menghasilkan pengapian di busi. Fungsi CDI adalah membaca sensor yang mengatur waktu pengapian yang terdapat pada mesin lalu diolah secara digital dalam CDI. Hasil pemrosesan CDI berupa output yang akan mengatur perangkat pengapian untuk melakukan pembakaran (*combustion*) bahan bakar di dalam ruang bakar (*combustion chamber*) sebuah mesin sepeda motor.

Sensor pengatur *timing* pengapian terdapat pada bagian ruang magnet sebuah mesin. Sensor berupa pulser (*pick-up coil*) akan membaca tonjolan (*pulse*) yang terdapat pada sisi luar pelat dudukan (*sitting*) magnet. Magnet yang terhubung dengan *crankshaft* akan berputar sesuai dengan putaran mesin, semakin tinggi putaran mesin maka semakin tinggi pula putaran magnet yang akan berpengaruh terhadap pembacaan pulser terhadap tonjolan sisi luar *sitting plate*

magnet. Besarnya energi yang tersimpan didalam kapasitor CDI sangat menentukan seberapa kuat pengapian dari busi untuk memantik campuran gas di dalam ruang bakar. Semakin besar energi yang tersimpan didalam kapasitor maka semakin kuat pengapian yang dihasilkan di busi untuk memantik campuran gas bakar dengan catatan diukur pada penggunaan *coil* yang sama. Energi yang besar juga akan memudahkan pengapian menembus kompresi yang tinggi ataupun campuran gas bakar yang banyak akibat dari pembukaan *throttle* yang lebih besar.



Gambar 2.13 Skema CDI

Dari uraian di atas dapat kita simpulkan bahwa CDI yang kita pasang untuk pengapian sangat berpengaruh pada performa kendaraan yang kita gunakan. Hal ini disebabkan karena dengan penggunaan pengapian yang baik maka pembakaran di dalam ruang bakar akan tuntas dan sempurna sehingga panas yang dihasilkan dari pembakaran akan optimal. Semakin panas hasil pembakaran di ruang bakar artinya semakin besar ledakan yang dihasilkan dari campuran gas di ruang bakar sehingga menghasilkan energi gerak yang besar pula di mesin. Panas disini adalah panas yang dihasilkan murni dari ledakan campuran gas bakar, bukan karena gesekan antar komponen didalam ruang bakar. Dengan kata lain panas yang dimaksudkan adalah panas ideal yang dapat dihasilkan dari pembakaran campuran gas bakar dengan energi dari sistem pengapian yang digunakan.

Besarnya energi ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus dasar untuk menghitung energi kapasitor yaitu :

$$E = \frac{1}{2} C V^2 \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

E=energi (joule)

C=kapasitor (farad)

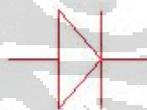
V=tegangan(Volt)

Energi inilah yang akan dikirimkan ke busi melalui Koil yang kemudian akan digunakan untuk memantik campuran gas di ruang bakar. Oleh karena itu semakin besar energi ini, semakin kuat pengapian yang dihasilkan oleh busi.

Pada zaman sekarang sudah banyak CDI digital berkembang. *Digital CDI* adalah sistem pengapian *CDI* yang dikendalikan oleh *microcomputer* agar *Ignition Timing* (waktu pengapian) yang dihasilkan sangat presisi dan stabil sampai *RPM* tinggi. Akibatnya pembakaran lebih sempurna dan hemat bahan bakar, serta tenaga yang dihasilkan akan sangat stabil dan besar mulai dari putaran rendah sampai putaran tinggi.

2.10.5 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 2.14 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 2.15 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 Zener

Ketika tegangan *reserve-bias* maksimum diberikan kepada dioda, maka arus listrik akan mengalir seperti layaknya pada keadaan *forward-bias*. Arus listrik ini tidak akan merusak dioda jika tidak melebihi dari apa yang telah ditentukan. Ketika tegangan *reserve-bias* ini dapat dikendalikan pada level tertentu maka dioda ini disebut sebagai Dioda Zener.

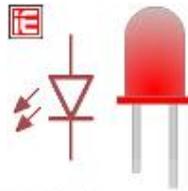


Gambar 2.16 Lambang Dioda Zener

Dioda zener memiliki nilai tegangan yang telah ditentukan dalam pembuatannya, nilai tegangan ini mempunyai rentang dari beberapa volt hingga ratusan volt dan toleransi dioda zener berkisar antara 5% - 10%. Pada aplikasinya di dalam rangkaian elektronika, dioda zener berfungsi sebagai pengatur tegangan (regulator) dengan berperan sebagai beban. Dioda zener akan mengalirkan banyak arus listrik jika tegangan terlalu tinggi, dan mengurangi arus listrik jika tegangan terlalu rendah, sehingga menyebabkan tegangan stabil. Seperti pada contoh gambar diatas tegangan dari sumber tegangan adalah 12V tetapi tegangan yang terukur pada Rload adalah 9V sama dengan nilai tegangan dioda zener.

- LED (*Light Emitting Diodes*)

LED merupakan jenis dioda yang jika diberikan tegangan forward-bias akan menimbulkan cahaya dengan warna-warna tertentu seperti merah, hijau, dan kuning.



Gambar 2.17 Lambang LED (*Light Emitting Diodes*)

Simbol LED hampir sama dengan simbol dioda hanya saja pada simbol LED ditambahkan dua garis panah ke arah luar seperti ter-ilustrasi pada gambar diatas. LED dalam rangkaian elektronika biasa digunakan sebagai lampu indikator.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Penelitian

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

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

Pengujian dilakukan dalam 3 kategori :

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

3.2 Alat Uji

Peralatan uji yang digunakan pada penelitian ini antara lain adalah:

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

1.1. Dimensi

Panjang	: 1.910 mm
Lebar	: 715 mm
Tinggi	: 1.674 mm

1.2. Kapasitas

Jarak sumbu roda	: 1.222 mm
Oli mesin	: 0,7 liter
Tangki bahan bakar	: 3,7 liter

1.3. Mesin

Diameter x langkah	: 50 x 49,5 mm
Perbandingan kompresi	: 8,8 : 1
Volume langkah	: 97,1cm ³

1.4. Transmisi

4 Kecepatan bertaut tetap, system rotari



Gambar 3.1 Sepeda Motor Honda Supra Fit 100 cc

2. Tabung reaksi elektrolisa

Tabung reaksi elektrolisa air merupakan tempat terjadinya peristiwa elektrolisa air. Tabung ini memiliki kapasitas isi 0,5 liter air. Didalam 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 elektrolisa 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 ₂	: 0 – 19,99	% Vol res 0,1
- HC	: 0 – 9999	ppm vol res 1
- O ₂	: 0 – 4	% Vol res 0,01
	: 4 – 25,0	% Vol res 0,1
- NO _x	: 0 – 2000	ppm Vol res 5
- Lambda	: 0,500 – 2,000	res 0,001
- Temp. operasi	: 5 – 40 °C	
Hisapan gas yang dites	: 8 L/menit	
Waktu respons	: < 10 detik (untuk panjang probe 3 m)	
Dimensi	: 400 x 180 x 420 mm	
Berat	: 13,5 kg	
Waktu pemanasan	: maksimal 15 menit	
Sumber tegangan	: 110/220/240 V, 50/60 Hz	
Tes kebocoran dan kalibrasi otomatis.		
Kontrol aliran internal dan kalibrasi secara otomatis.		



Gambar 3.4 *Technotest 488 Plus Gas Analyzer.*

Prinsip Kerja *Infra Red Gas Analyzer* :

Gas Analyzer akan menganalisis kandungan gas buang dan menghitung campuran udara-bahan bakar (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, CO₂, yang lalu diteruskan ke *amplifier* dan selanjutnya ditampilkan di *display*. Gas yang terdapat pada sel ukur akan menyerap sinar infra merah dengan panjang gelombang yang berbeda tergantung dari masing-masing konsentrasi gas. Gas H₂, N₂, dan O₂ (memiliki nomor atom yang sama) akan membentuk komposisi molekul dan tidak menyerap sinar infra merah.

Sehingga pengukuran ketiga komponen tersebut melalui sensor kimia.

5. Dinamometer

Merk : Dyno Dynamics

Model : *Lowboy chassis AWD*

Spesifikasi

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



Gambar 3.5 Dynojet

Perhitungan-perhitungan yang dapat dihasilkan antara lain

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

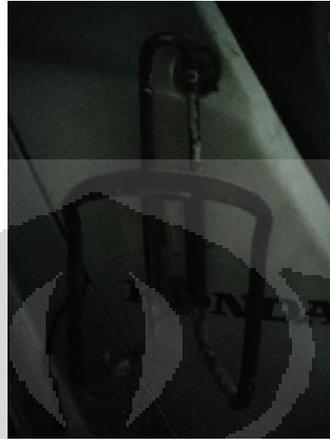
Jenis kendaraan yang dapat di diagnosa oleh dinamometer dynodynamics

1. *Rear wheel drive*/Tarikan roda belakang (2WD)
2. *Front wheel drive*/ Tarikan roda depan (2WD)
3. Kendaraan FWD/4WD
4. *Recreational vehicles* (RV)
5. Kendaraan balap dengan 2WD/4WD
6. *Sport Utility Vehicles* (SUV)
7. *Light commercial vehicles*
8. Sepeda motor

Menu Transmisi yang dapat dipilih

1. *Rear wheel drive*
2. *Front wheel drive*
3. *All wheel drive*
4. *Locked front:rear* AWD/4WD
5. *Full time* AWD/4WD
6. *Viscous coupled* AWD/4WD
7. *Interlligent European* AWD/4WD

6. Timbangan digital AND FX 4000
7. Gelas ukur 25 ml, ketelitian 0,5 ml
8. *Stopwatch* digital



Gambar 3.6 Dudukan/Tempat Tabung Reaktor

9. Dudukan/tempat tabung reaktor
10. *Multitester*
11. Dioda zener 12 V
12. Tachometer Digital
13. Busur Derajat (360°)
14. *Timing Light*

3.3 Skematik Pengujian

Metode pengujian dilakukan kedalam 3 kategori :

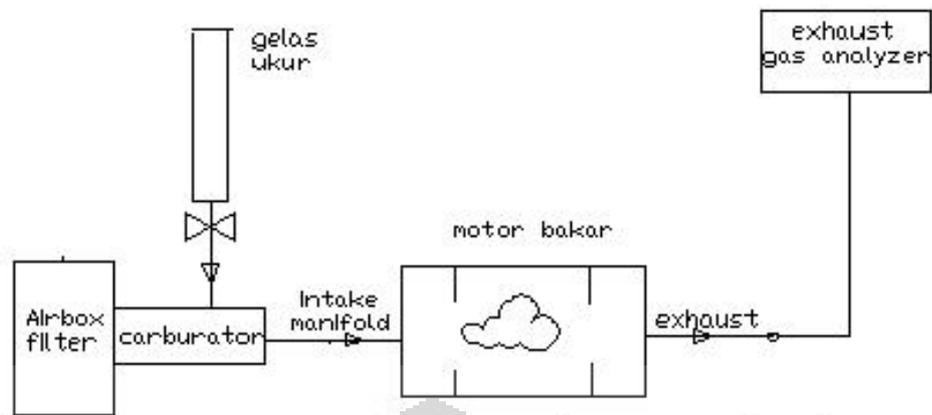
- Pengujian konsumsi bahan bakar dengan melakukan uji jalan kendaraan
- Pengujian emisi hasil pembakaran
- Pengujian daya dan torsi kendaraan

Di dalam setiap kategori, terdapat 16 tahap pengujian yang dilakukan. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan data pembandingan yaitu sebelum dan sesudah menggunakan gas hidrogen dengan perubahan derajat waktu pengapian.

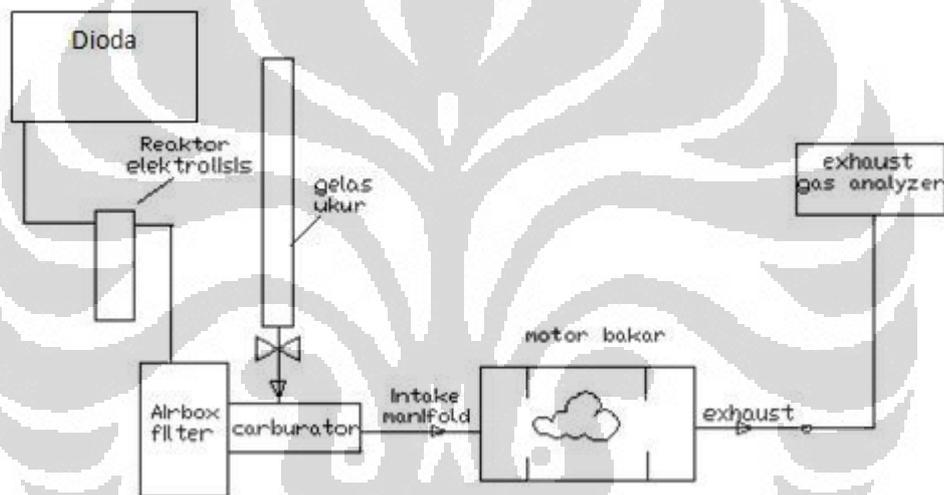
Tahap-tahap yang harus dilakukan dalam setiap pengujian adalah :

- a. Menguji kendaraan dalam kondisi derajat pengapian standar dengan bahan bakar premium

- b. Menguji kendaraan dalam kondisi derajat pengapian standar dengan bahan bakar pertamax
- c. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 1⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar premium
- d. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 1⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar pertamax
- e. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 2⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar premium
- f. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 2⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar pertamax
- g. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 3⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar premium
- h. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 3⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar pertamax
- i. Menguji kendaraan dalam kondisi derajat pengapian standar dengan bahan bakar premium dan gas hidrogen
- j. Menguji kendaraan dalam kondisi derajat pengapian standar dengan bahan bakar pertamax dan gas hidrogen
- k. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 1⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar premium dan gas hidrogen
- l. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 1⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar pertamax dan gas hidrogen
- m. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 2⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar premium dan gas hidrogen
- n. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 2⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar pertamax dan gas hidrogen
- o. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 3⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar premium dan gas hidrogen
- p. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 3⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar pertamax dan gas hidrogen

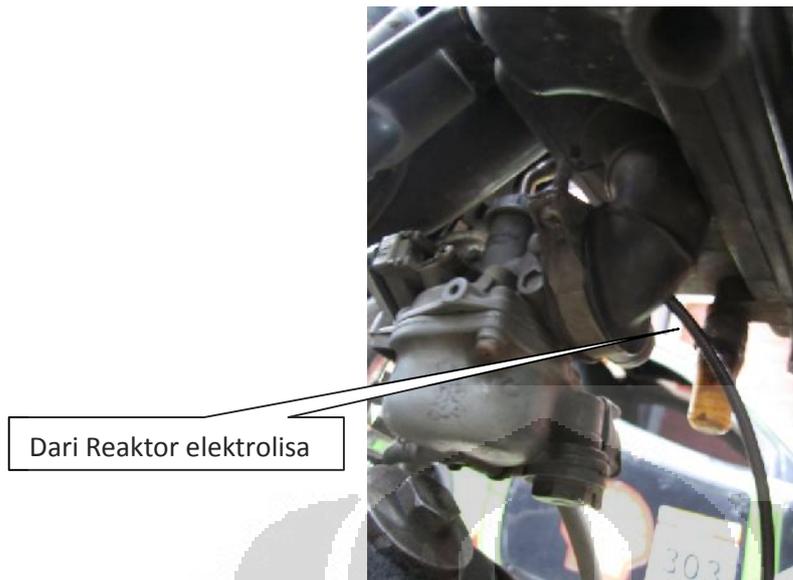


Gambar 3.7 Skema Alat Uji Tanpa Gas Hidrogen



Gambar 3.8 Skema Alat Uji Dengan Ditambah Gas Hidrogen

Pengujian kendaraan dengan menggunakan tambahan gas hidrogen dapat dilihat pada Gambar 3.8. dimana gas hasil elektrolisa air yaitu gas hidrogen dimasukkan sebelum karburator, yaitu pada *Airbox Filter*.



Gambar 3.9 Posisi Injeksi Gas Elektrolisa Air Pada *Airbox Filter*.

CDI Programmable digunakan Untuk mengatur posisi derajat pengapian. Posisi derajat pengapian dimajukan dari posisi standar 15° BTDC (*before top dead center*) pada RPM 2000 , 27° BTDC (*before top dead center*) pada RPM 2500, 30° BTDC (*before top dead center*) pada RPM 3000-9000 dan 29° BTDC (*before top dead center*) pada RPM 9500-10000 menjadi 31° , 32° , 33° BTDC pada RPM 3000-9000 dan 29° , 30° , 31° , 32° BTDC (*before top dead center*) pada RPM 9500-10000 . Posisi derajat timing pengapian mengikuti posisi standar sepeda motor supra fit dan hanya di majukan 1° saja pada setiap variasi perubahan.



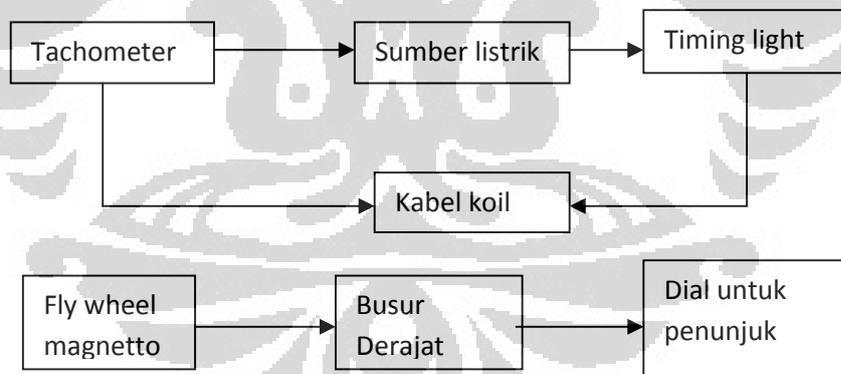
Gambar 3.10 *CDI Digital* untuk mengatur posisi derajat waktu pengapian

Sebelum melakukan kategori pengujian di atas perlu dilakukan pengukuran posisi derajat pengapian dan laju gas hidrogen yang akan digunakan.

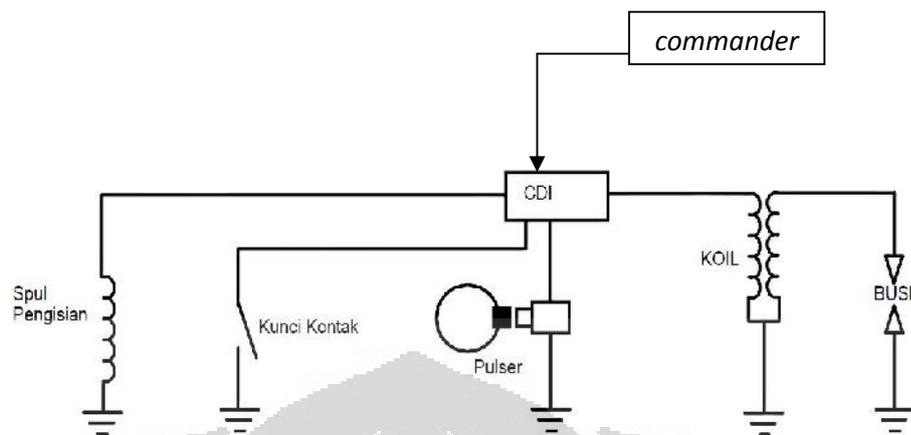
3.3.1 Pengukuran posisi derajat waktu pengapian

Sebelum melakukan pengujian pada motor bakar, perlu didapatkan posisi derajat pengapian sepeda motor pada saat aktual ketika sepeda motor menyala. Untuk mengukur posisinya yaitu dengan *Timing light*, *Tachometer*, Busur Derajat, dan *Dial* penunjuk.

- *Timing light* adalah alat untuk mengukur waktu pengapian dan akan menyala sesuai dengan RPM
- *Tachometer* adalah alat untuk mengukur besarnya RPM sepeda motor
- Busur Derajat adalah alat untuk mengukur derajat waktu pengapian BTDC (*Before Top Dead Center*) .
- *Dial* penunjuk adalah besi yang di pasang untuk menunjuk arah pada busur derajat.



Gambar 3.11 skema pemasangan alat uji posisi derajat pengapian



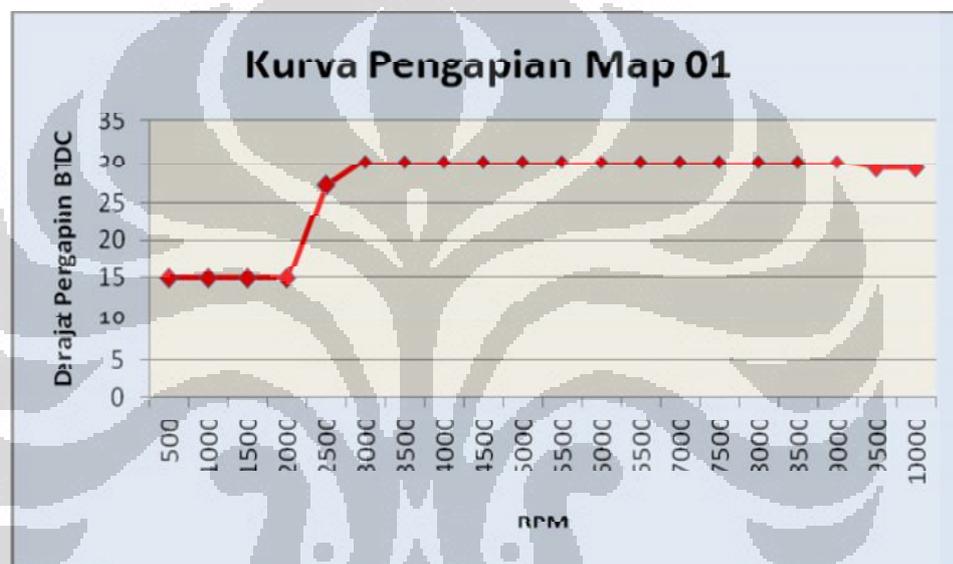
Gambar 3.12 skema pemasangan CDI *Digital BRT*

Prosedur Pengukuran posisi Derajat waktu pengapian

1. Pasang seluruh alat-alat pengukuran sesuai skematik gambar 3.11
2. Posisikan mesin pada posisi top kompresi yaitu salah satunya adalah garis T pada magnet tepat dengan tanda penyesuai pada *body*, hal ini dilakukan untuk menghitung 0 derajat pada perputaran poros engkol.
3. Tarik garis siku dari sumbu utama poros engkol dengan garis T, kemudian gunakanlah busur derajat untuk menentukan derajat yang lain kemudian tandai dengan menggunakan Dial penunjuk selain dari tanda yang sudah ada yaitu garis F tanda pengapian untuk putaran stasioner 15° BTDC (*before top dead center*) dan garis II tanda pengapian untuk putaran tinggi $30^{\circ} - 43^{\circ}$ BTDC (*before top dead center*)
4. Pasang CDI *digital* sesuai skematik gambar 3.12
5. Nyalakan sepeda motor dan atur pemrograman CDI digital dengan commander pada map 01 yaitu 30° BTDC (*before top dead center*) pada RPM 3000-9000 dan 29° BTDC (*before top dead center*) pada RPM 9500-10000.
6. Atur posisi throttle motor pada RPM 3000 sesuai pada tulisan di tachometer digital.
7. Arahkan timing light pada busur derajat yaitu pada posisi 30° BTDC. Lihat posisi dial penunjuk di busur derajat.

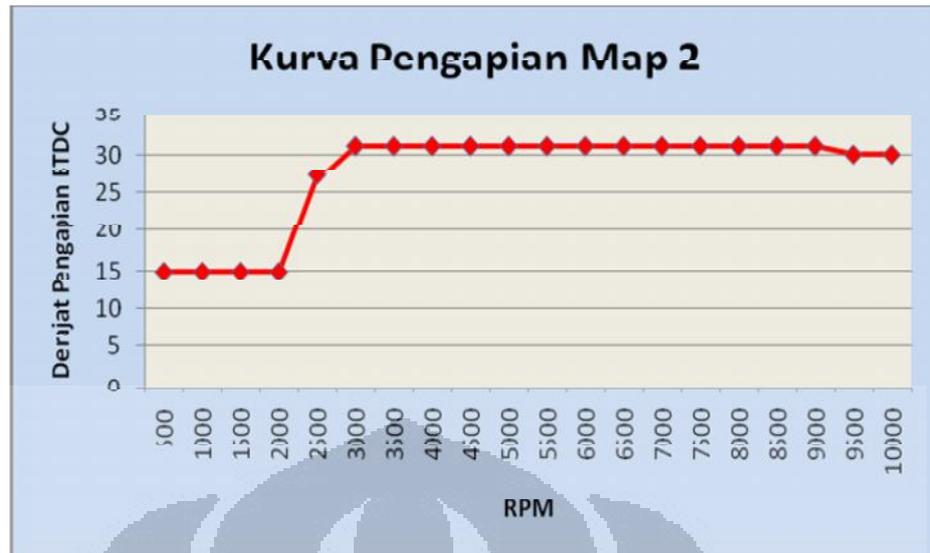
Pengujian dilakukan dalam 17 tahap RPM yang konstan yaitu 2000,2500,3000,3500,4000,4500,5000,5500,6000,6500,7000,7500,8000,8500, 9000,9500,10000 RPM. Pada saat pengujian, CDI digital sudah diatur oleh commander sesuai dengan Map 1, Map 2, Map 3, Map 4 ,yaitu:

- Map 1 adalah map standar yang di posisikan pada 15° BTDC (*before top dead center*) pada RPM 2000, 27° BTDC (*before top dead center*) pada RPM 2500, 30° BTDC (*before top dead center*) pada RPM 3000-9000 dan 29° BTDC (*before top dead center*) pada RPM 9500-10000.



Gambar 3.13 Kurva Pengapian Map 1

- Map 2 adalah map perubahan yang di posisikan pada 15° BTDC (*before top dead center*) pada RPM 2000, 27° BTDC (*before top dead center*) pada RPM 2500, 31° BTDC (*before top dead center*) pada RPM 3000-9000 dan 30° BTDC (*before top dead center*) pada RPM 9500-10000.



Gambar 3.14 Kurva Pengapian Map 2

- Map 3 adalah map standar yang di posisikan pada 15° BTDC (*before top dead center*) pada RPM 2000, 27° BTDC (*before top dead center*) pada RPM 2500, 32° BTDC (*before top dead center*) pada RPM 3000-9000 dan 31° BTDC (*before top dead center*) pada RPM 9500-10000.



Gambar 3.15 Kurva Pengapian Map 3

- Map 4 adalah map standar yang di posisikan pada 15° BTDC (*before top dead center*) pada RPM 2000, 27° BTDC (*before top dead center*) pada

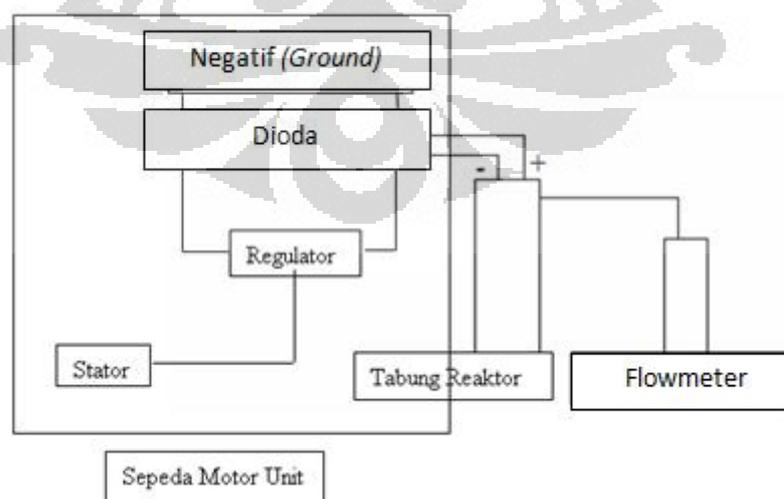
RPM 2500, 33° BTDC (*before top dead center*) pada RPM 3000-9000 dan 32° BTDC (*before top dead center*) pada RPM 9500-10000.



Gambar 3.16 Kurva Pengapian Map 4

3.3.2 Pengukuran Laju Gas Hidrogen

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



Gambar 3.17 Skema Pengukuran Volume Gas Hasil Elektrolisa

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 elektrolisa air yang memasuki flow meter dengan melihat gerakan bandul pada flow meter.

3.4 **Prosedur Pengujian Dan Pengambilan Data**

Metode pengujian dilakukan kedalam 3 kategori :

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

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 $55 \text{ kg} \pm 5 \text{ kg}$

- 2.2. Kecepatan angin < 3 meter/sekon
- 2.3. Kondisi sepeda motor harus sesuai spesifikasi pabrik dan sebelum dilakukan pengukuran, sepeda motor harus sudah beroperasi pada suhu normalnya.
- 2.4. Tempat pengujian mempunyai lintasan jalan lurus, rata, datar dan dikeraskan.
3. Alat Uji
 - 3.1. Perlengkapan pengukuran konsumsi bahan bakar
 - 3.2. Alat pencatat waktu otomatis/manual dengan ketelitian minimal 1/100 sekon.
 - 3.3. Alat pengukur jarak.
4. Cara Uji
 - 4.1. Posisi gigi transmisi harus pada posisi gigi tertinggi, kecuali dalam keadaan putaran mesin tidak stabil, maka dapat digunakan gigi yang lebih rendah.
 - 4.2. Jarak lintasannya yang ditempuh 300 m sampai 500 m.
 - 4.3. Pengujian dapat dilakukan mulai dari kecepatan konstan 20 km/jam dengan penambahan kecepatan 10 km/jam (toleransi + 5 km%)
 - 4.4. Konsumsi bahan bakar dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

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

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

S = jarak yang ditempuh, (m)

Q = konsumsi bahan bakar, (ml)

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

M = perbandingan berat bahan bakar /oli.

Pengambilan data dilakukan di 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 :

- a. Menguji kendaraan dalam kondisi derajat pengapian standar dengan bahan bakar premium
- b. Menguji kendaraan dalam kondisi derajat pengapian standar dengan bahan bakar pertamax
- c. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 1⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar premium
- d. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 1⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar pertamax
- e. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 2⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar premium
- f. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 2⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar pertamax
- g. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 3⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar premium
- h. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 3⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar pertamax
- i. Menguji kendaraan dalam kondisi derajat pengapian standar dengan bahan bakar premium dan gas hidrogen
- j. Menguji kendaraan dalam kondisi derajat pengapian standar dengan bahan bakar pertamax dan gas hidrogen
- k. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 1⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar premium dan gas hidrogen
- l. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 1⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar pertamax dan gas hidrogen
- m. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 2⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar premium dan gas hidrogen
- n. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 2⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar pertamax dan gas hidrogen

- o. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 3^0 dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar premium dan gas hidrogen
- p. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 3^0 dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar pertamax dan gas hidrogen

3.4.2 Prosedur Pengujian Emisi Kendaraan Hasil Pembakaran

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

Prosedur Menghidupkan *Gas Analyzer*

1. Menghubungkan kabel utama *Gas Analyzer* ke sumber listrik.
2. Menekan tombol '**ON/OFF**' di bagian belakang untuk menyalakan *gas analyzer*.
3. Setelah alat menyala, pada display kiri atas muncul kode '**01**' yang berarti proses pemanasan alat yang berlangsung maksimal 15 menit.
4. Selanjutnya, pada display akan muncul kode '**21**' yang berarti sedang berlangsung proses kalibrasi otomatis selama ± 2 menit.
5. Setelah proses kalibrasi selesai, alat akan mengukur kandungan O_2 di udara bebas (sekitar 21 % vol), kemudian menekan tombol '**pump**' untuk menampilkan kode '**03**' yang berarti *gas analyzer* berada dalam kondisi *stand by* dan siap untuk digunakan.

Prosedur Pengoperasian *Gas Analyzer*

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

6. Hal-hal yang perlu diperhatikan:

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

Prosedur Mematikan *Gas Analyzer*

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

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

- a. Menguji kendaraan dalam kondisi derajat pengapian standar dengan bahan bakar premium
- b. Menguji kendaraan dalam kondisi derajat pengapian standar dengan bahan bakar pertamax
- c. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 1⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar premium

- d. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 1⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar pertamax
- e. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 2⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar premium
- f. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 2⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar pertamax
- g. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 3⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar premium
- h. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 3⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar pertamax
- i. Menguji kendaraan dalam kondisi derajat pengapian standar dengan bahan bakar premium dan gas hidrogen
- j. Menguji kendaraan dalam kondisi derajat pengapian standar dengan bahan bakar pertamax dan gas hidrogen
- k. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 1⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar premium dan gas hidrogen
- l. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 1⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar pertamax dan gas hidrogen
- m. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 2⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar premium dan gas hidrogen
- n. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 2⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar pertamax dan gas hidrogen
- o. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 3⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar premium dan gas hidrogen
- p. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 3⁰ dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar pertamax dan gas 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, CO₂, HC, dan O₂ dengan hasil yang lebih akurat.

3.4.3 Prosedur Pengujian Daya dan Torsi Kendaraan

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

- a. Menguji kendaraan dalam kondisi derajat pengapian standar dengan bahan bakar premium
- b. Menguji kendaraan dalam kondisi derajat pengapian standar dengan bahan bakar pertamax
- c. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 1^0 dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar premium
- d. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 1^0 dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar pertamax
- e. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 2^0 dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar premium
- f. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 2^0 dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar pertamax
- g. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 3^0 dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar premium
- h. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 3^0 dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar pertamax
- i. Menguji kendaraan dalam kondisi derajat pengapian standar dengan bahan bakar premium dan gas hidrogen
- j. Menguji kendaraan dalam kondisi derajat pengapian standar dengan bahan bakar pertamax dan gas hidrogen
- k. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 1^0 dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar premium dan gas hidrogen
- l. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 1^0 dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar pertamax dan gas hidrogen
- m. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 2^0 dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar premium dan gas hidrogen

- n. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 2^0 dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar pertamax dan gas hidrogen
- o. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 3^0 dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar premium dan gas hidrogen
- p. Menguji kendaraan dalam kondisi maju 3^0 dari derajat pengapian standar dengan bahan bakar pertamax dan gas hidrogen

Pengujian dengan menggunakan *dynometer* dilakukan pada *4th* gear dengan RPM 3000 sampai 9500 RPM. Dari pengujian ini dapat diketahui besar daya dan torsi kendaraan. Setiap tahap pada pengujian ini dilakukan minimal 5 kali pengetesan untuk mendapatkan data yang lebih akurat.



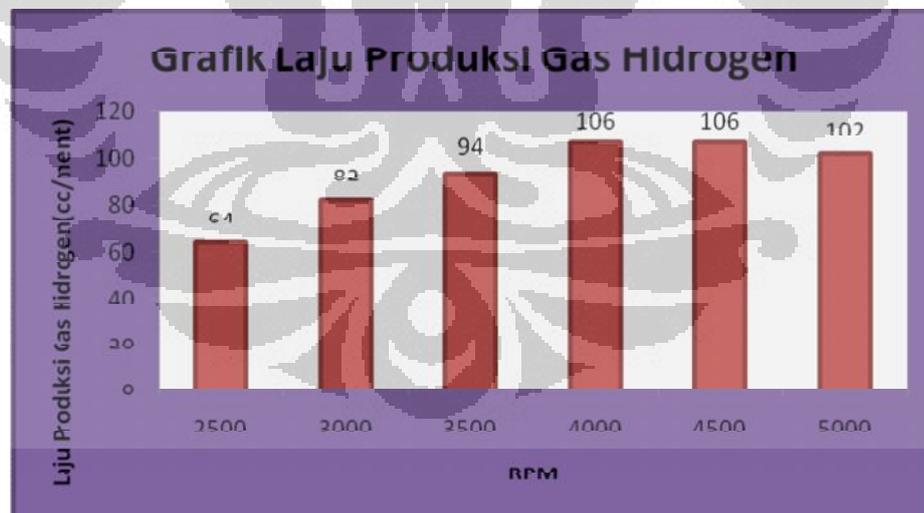
BAB 4 PENGOLAHAN DATA DAN ANALISIS

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)
3. Daya keluaran yang dihasilkan setelah penambahan gas hidrogen (H_2)

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 reactor.



Gambar 4.1 Diagram Laju Produksi Gas Hidrogen

- 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.

Reaksi pembentukan gas hidrogen (H_2) adalah :



Dari pengukuran laju produksi gas hidrogen, maka dapat diketahui laju produksi gas hidrogen (H_2) rata-rata sebagai berikut :

$$\text{Rata-rata laju produksi } H_2 = \frac{64+82+94+106+106+102}{6} = 92.33 \text{ cc/menit}$$

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 Kesetimbangan Energi

Penambahan gas hidrogen pada motor bakar 4 langkah memang membawa dampak positif, namun secara kesetimbangan 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 kesetimbangan energi :

Energi listrik yang digunakan per menit:

Pada kondisi 4000 RPM

$$V = 8,3 \text{ Volt}$$

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

$$i = 4,7 \text{ ampere}$$

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

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

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

$$W = m \cdot LHV$$

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

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

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

- **Bahan Bakar Premium**

Pada pengujian ini, dilakukan pengujian jalan kendaraan. Pengujian dilakukan pertama kali untuk kondisi standar tanpa penambahan gas hidrogen dan tanpa variasi derajat *timing* pengapian. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui konsumsi bahan bakar pada kondisi standar. Data konsumsi bahan bakar tersebut nantinya akan dijadikan acuan.

Selanjutnya pengujian dilanjutkan dengan memvariasikan derajat *timing* pengapian tanpa penambahan gas hidrogen. Pengujian terakhir adalah menguji konsumsi bahan bakar dengan memvariasikan derajat *timing* pengapian dan dengan 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)

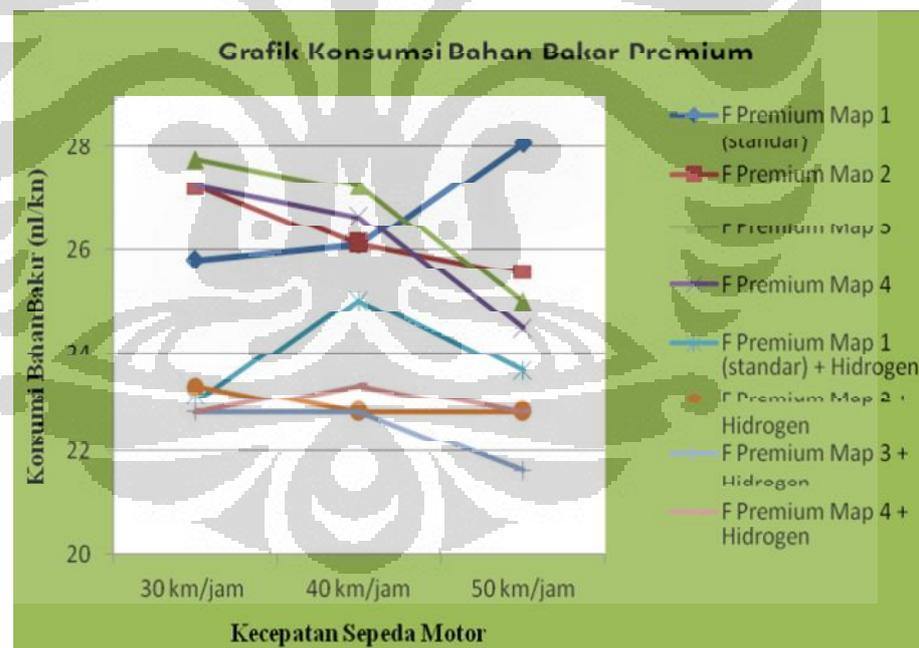
Contoh :

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

$Q = 7 \text{ ml} = 0,007 \text{ liter}$

$F = 7 / 0.3 = 23.3 \text{ ml/km} = 0,0233 \text{ liter/km}$

Berikut adalah grafik data pengujian konsumsi bahan bakar premium :



Gambar 4.2 Grafik Konsumsi Bahan Bakar Premium

Grafik di atas menampilkan hasil pengujian konsumsi bahan bakar premium dengan kondisi standar, dengan memvariasikan derajat *timing* pengapian, dan dengan penambahan gas hidrogen. Dari grafik di atas dapat terlihat bahwa dengan menaikkan derajat *timing*

pengapian dari posisi Titik Mati Atas (TMA), konsumsi bahan bakar cenderung menurun. Untuk kondisi tanpa penambahan gas hidrogen, semakin meningkatnya derajat *timing* pengapian, konsumsi bahan bakar cenderung berkurang. Hanya pada kondisi Map 2 dan Map 3 terjadi penambahan konsumsi bahan bakar, namun seiring bertambahnya kecepatan, maka konsumsi bahan bakar pada Map 2 dan Map 3 mengalami penurunan dibandingkan dengan kondisi standar.

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 hidrogen dengan menggunakan Map 3 (Posisi derajat pengapian 32° sebelum titik mati atas) . 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 sehingga oktan bahan bakar menjadi naik untuk itu diperlukan pembakaran awal dengan memajukan posisi derajat pengapian agar kecepatan terbakarnya bahan bakar menjadi lebih cepat sehingga bahan bakar dapat terbakar semua.

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

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

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

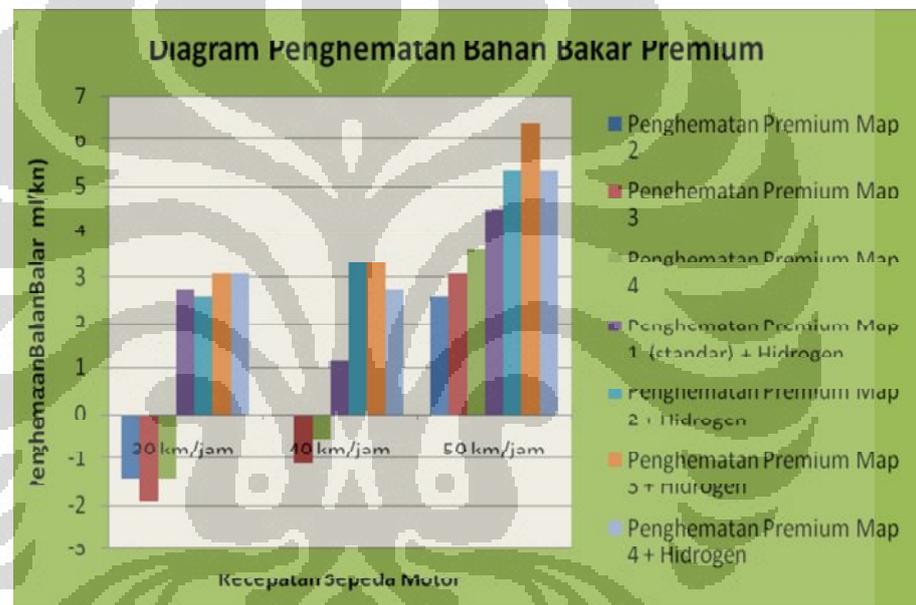
$$fc_{\text{Map 2 + hidrogen}} = 22.22 \text{ ml/km}$$

$$\Delta fc = fc_{\text{kondisi standar}} - fc_{\text{Map 2 + hidrogen}} = 26.11 - 22.22 = 3.89 \text{ ml/km}$$

Maka persentase penghematan BBM adalah:

$$\begin{aligned} \text{Penghematan (\%)} &= \frac{f_c \text{ kondisi standar}}{f_c \text{ Map 2+hidrogen}} \times 100 \\ &= \frac{3.89}{26.11} \times 100 \\ &= 14.89 \% \end{aligned}$$

Besarnya penghematan penggunaan bahan bakar dapat dilihat pada diagram berikut :

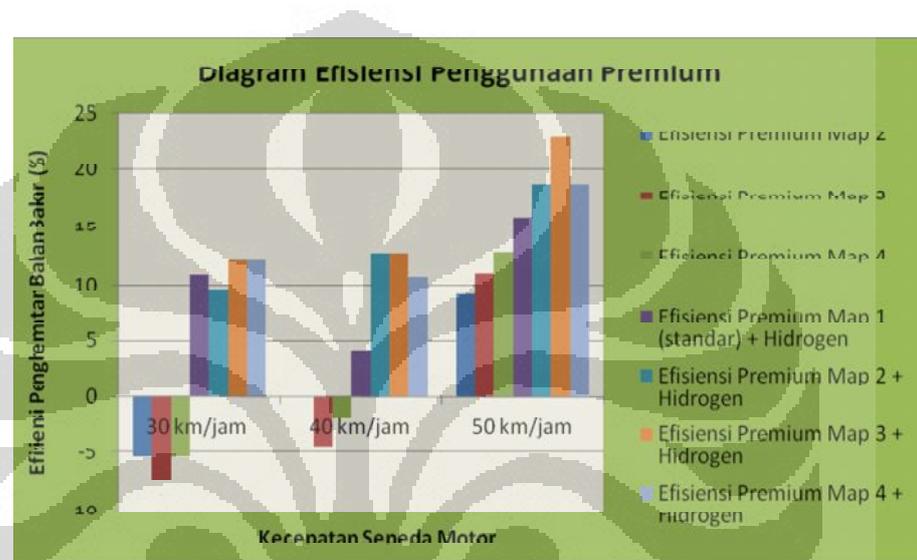


Gambar 4.3 Diagram Penghematan Konsumsi Bahan Bakar Premium

Dari gambar 4.3 dapat diketahui bahwa penghematan konsumsi bahan bakar premium maksimum terjadi pada kecepatan 50 km/jam dan terjadi ketika menggunakan pengapian standar dan Map 3 (Posisi derajat pengapian 32^0 sebelum titik mati atas) dan dengan ditambahkan gas hidrogen. Penghematan maksimum adalah sebesar 6.38 ml/km. 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 sehingga oktan bahan bakar menjadi naik untuk itu diperlukan pembakaran awal dengan memajukan posisi derajat pengapian agar kecepatan

terbakarnya bahan bakar menjadi lebih cepat sehingga bahan bakar dapat terbakar semua.

Namun, karena pada kenyataannya sepeda motor berjalan dengan kecepatan yang tidak selalu konstan, maka harus diketahui efisiensi rata-rata dari konsumsi bahan bakar premium. Berikut ditampilkan diagram efisiensi penghematan konsumsi bahan bakar premium :



Gambar 4.4 Diagram Efisiensi Penghematan Bahan Bakar Premium

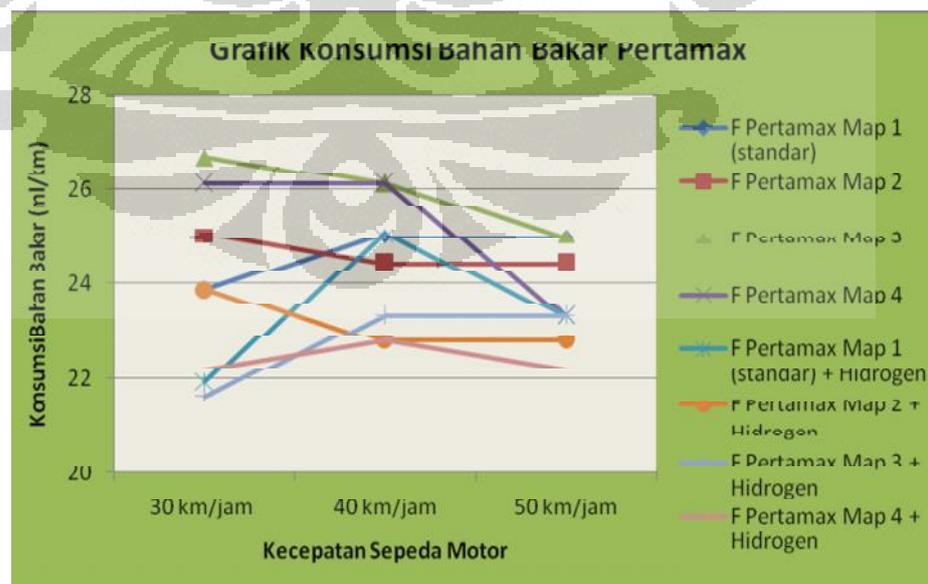
Tabel 4.1 Tabel Efisiensi Rata-Rata Penghematan Bahan Bakar Premium

Efisiensi Rata-Rata Penggunaan Bahan Bakar Premium	Efisiensi (%)
Efisiensi Premium Map 2	1.18
Efisiensi Premium Map 3	-0.29
Efisiensi Premium Map 4	1.78
Efisiensi Premium Map 1 (standar) + Hidrogen	10.28
Efisiensi Premium Map 2 + Hidrogen	13.75
Efisiensi Premium Map 3 + Hidrogen	15.78
Efisiensi Premium Map 4 + Hidrogen	13.75

Dari data tabel di atas maka dapat diketahui bahwa efisiensi rata-rata penggunaan bahan bakar premium yang paling maksimal adalah ketika menggunakan pengapian Map 3 (Posisi derajat pengapian 32° sebelum titik mati atas) dan dengan penambahan gas hidrogen pada ruang bakar. Efisiensi maksimal adalah sebesar 15.78 %. 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 sehingga oktan bahan bakar menjadi naik untuk itu diperlukan pembakaran awal dengan memajukan posisi derajat pengapian agar kecepatan terbakarnya bahan bakar menjadi lebih cepat sehingga bahan bakar dapat terbakar semua.

- **Pertamax**

Proses pengujian dengan penggunaan bahan bakar pertamax pada prinsipnya menggunakan metode pengujian yang sama dengan pengujian yang menggunakan bahan bakar premium. Berikut ditampilkan grafik konsumsi bahan bakar yang menggunakan bahan bakar pertamax :



Gambar 4.5 Grafik Konsumsi Bahan Bakar Pertamax

Grafik di atas menampilkan hasil pengujian konsumsi bahan bakar pertamax dengan kondisi standar, dengan memvariasikan derajat *timing* pengapian, dan dengan penambahan gas hidrogen. Dari grafik di atas dapat terlihat bahwa dengan menaikkan derajat *timing* pengapian dari posisi Titik Mati Atas (TMA), konsumsi bahan bakar cenderung menurun. Untuk kondisi tanpa penambahan gas hidrogen, semakin meningkatnya derajat *timing* pengapian, konsumsi bahan bakar cenderung berkurang. Pada kondisi Map 2, Map 3, dan Map 4 terjadi penambahan konsumsi bahan bakar, namun seiring bertambahnya kecepatan, maka konsumsi bahan bakar pada Map 2, Map 3 dan Map 4 mengalami penurunan dibandingkan dengan kondisi standar.

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 hidrogen dengan menggunakan Map 4 (Posisi derajat pengapian 33° sebelum titik mati atas) . 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 sehingga oktan bahan bakar menjadi naik untuk itu diperlukan pembakaran awal dengan memajukan posisi derajat pengapian agar kecepatan terbakarnya bahan bakar menjadi lebih cepat sehingga bahan bakar dapat terbakar semua.

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

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

$$fc_{\text{kondisi standar}} = 25 \text{ ml/km}$$

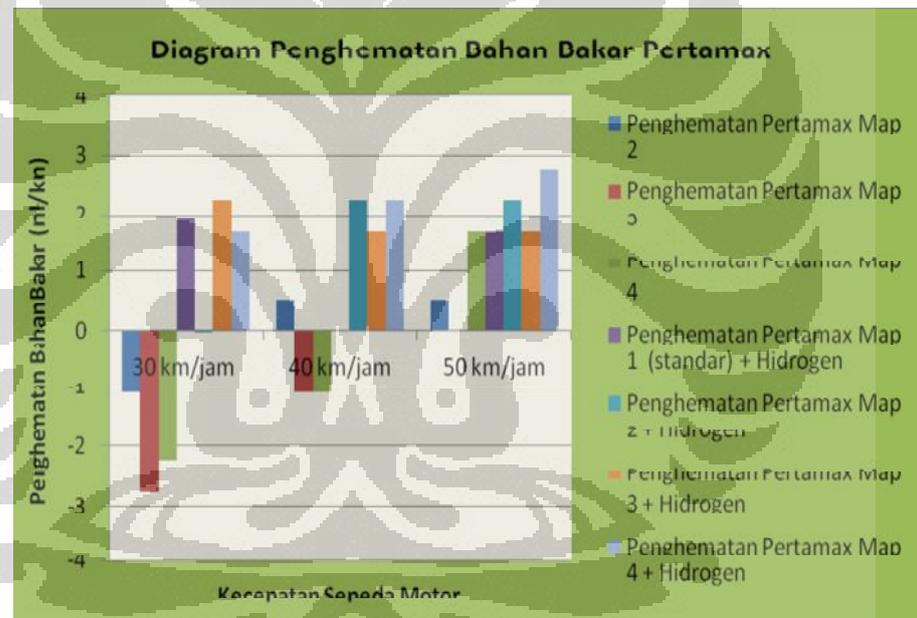
$$fc_{\text{Map 2 + hidrogen}} = 23.33 \text{ ml/km}$$

$$\Delta fc = fc_{\text{kondisi standar}} - fc_{\text{Map 2 + hidrogen}} = 25 - 23.33 = 1.67 \text{ ml/km}$$

Maka persentase penghematan BBM adalah:

$$\begin{aligned} \text{Penghematan (\%)} &= \frac{fc_{\text{kondisi standar}}}{fc_{\text{Map 2+hidrogen}}} \times 100 \\ &= \frac{1.67}{26.11} \times 100 \\ &= 6.68 \% \end{aligned}$$

Besarnya penghematan penggunaan bahan bakar dapat dilihat pada diagram berikut :

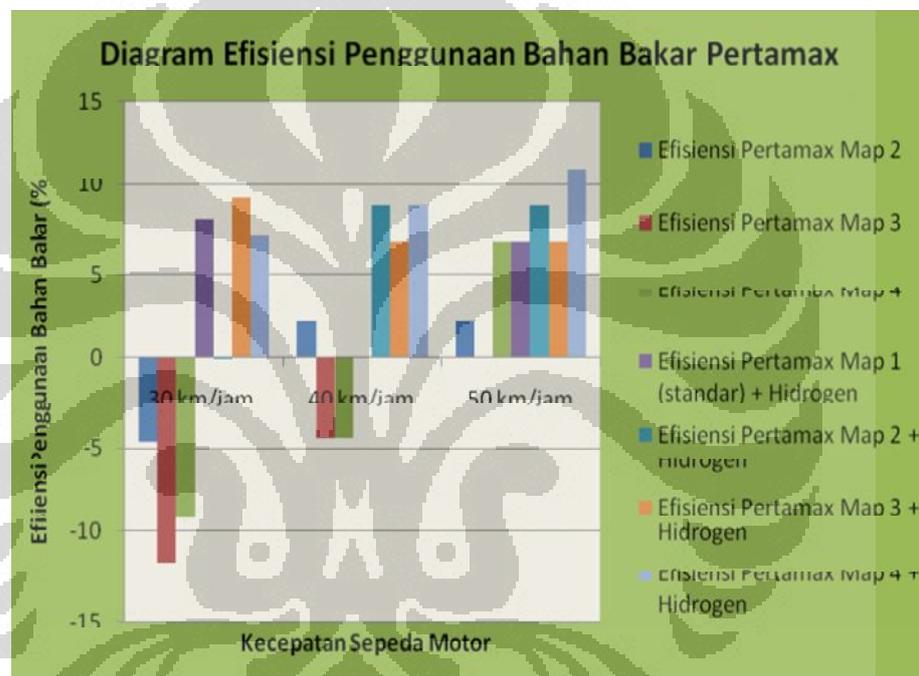


Gambar 4.6 Diagram Penghematan Bahan Bakar Pertamax

Dari gambar 4.6 dapat diketahui bahwa penghematan konsumsi bahan bakar pertamax maksimum terjadi pada kecepatan 50 km/jam dan terjadi ketika menggunakan pengapian Map 4 (Posisi derajat pengapian 33° sebelum titik mati atas) dan dengan ditambahkan gas hidrogen. Penghematan maksimum adalah sebesar 2.778 ml/km. 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 sehingga oktan bahan bakar

menjadi naik untuk itu diperlukan pembakaran awal dengan memajukan posisi derajat pengapian agar kecepatan terbakarnya bahan bakar menjadi lebih cepat sehingga bahan bakar dapat terbakar semua.

Namun, karena pada kenyataannya sepeda motor berjalan dengan kecepatan yang tidak selalu konstan, maka harus diketahui efisiensi rata-rata dari konsumsi bahan bakar premium. Berikut ditampilkan diagram efisiensi penghematan konsumsi bahan bakar pertamax :



Gambar 4.7 Diagram Efisiensi Penggunaan Bahan Bakar Pertamax

Tabel 4.2 Tabel Efisiensi Rata-Rata Penghematan Bahan Bakar Pertamax

Efisiensi Rata-Rata Penggunaan Bahan Bakar Pertamax	Efisiensi (%)
Efisiensi Pertamax Map 2	-0.07
Efisiensi Pertamax Map 3	-5.35
Efisiensi Pertamax Map 4	-2.36
Efisiensi Pertamax Map 1 (standar) + Hidrogen	4.94
Efisiensi Pertamax Map 2 + Hidrogen	5.92
Efisiensi Pertamax Map 3 + Hidrogen	7.54
Efisiensi Pertamax Map 4 + Hidrogen	8.99

Dari data tabel di atas maka dapat diketahui bahwa efisiensi rata-rata penggunaan bahan bakar pertamax yang paling maksimal adalah ketika menggunakan pengapian Map 4 (Posisi derajat pengapian 33° sebelum titik mati atas) dan dengan penambahan gas hidrogen pada ruang bakar. Efisiensi maksimal adalah sebesar 8.99 %. 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 sehingga oktan bahan bakar menjadi naik untuk itu diperlukan pembakaran awal dengan memajukan posisi derajat pengapian agar kecepatan terbakarnya bahan bakar menjadi lebih cepat sehingga bahan bakar dapat terbakar semua.

- **Perbandingan Penghematan Penggunaan Bahan Bakar Pertamax dan Premium**

Apabila kondisi standar motor bakar tanpa penggunaan gas hidrogen dan dengan penggunaan bahan bakar premium dijadikan standar acuan (asumsi : Sebagian besar pengguna sepeda motor menggunakan bahan bakar premium dengan kondisi standar) maka dapat diketahui perbandingan penghematan penggunaan bahan bakar premium dan pertamax sebagai berikut :

Tabel 4.3 Tabel Efisiensi Rata-Rata Perbandingan Penggunaan Pertamax dan Premium

	Rata-Rata	Penghematan	Persentase Penghematan
Penghematan Premium Map 1 (standar)	26.67	0	0
Penghematan Premium Map 2	26.29	0.37	1.38
Penghematan Premium Map 3	26.67	0	0
Penghematan Premium Map 4	26.11	0.56	2.08

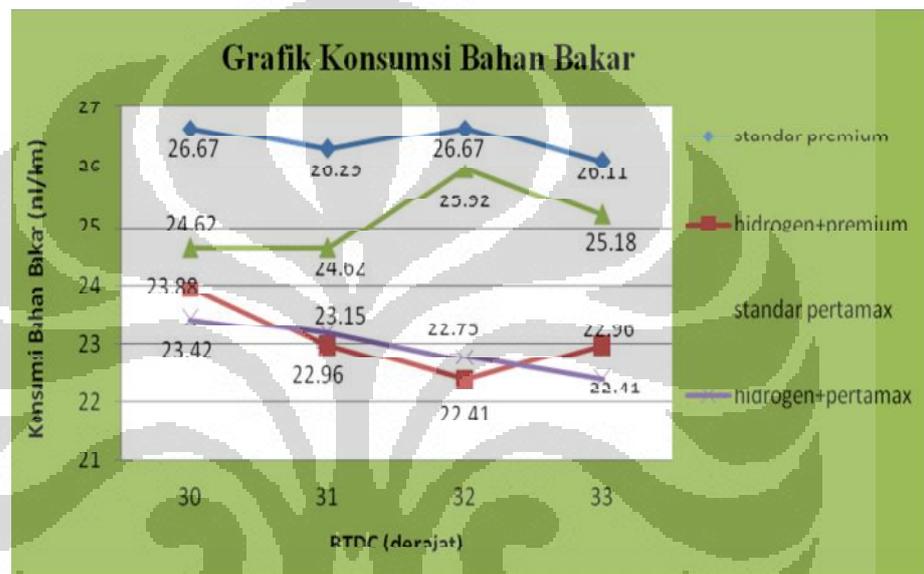
Tabel 4.3 Tabel Efisiensi Rata-Rata Perbandingan Penggunaan Pertamax dan Premium (Sambungan)

	Rata-Rata	Penghematan	Persentase Penghematan
Penghematan Premium Map 1 (standar) + Hidrogen	23.88	2.78	10.41
Penghematan Premium Map 2 + Hidrogen	22.96	3.7	13.88
Penghematan Premium Map 3 + Hidrogen	22.41	4.25	15.96
Penghematan Premium Map 4 + Hidrogen	22.96	3.70	13.88
Penghematan Pertamax Map 1 (standar)	24.62	2.03	7.63
Penghematan Pertamax Map 2	24.63	2.03	7.63
Penghematan Pertamax Map 3	25.93	0.74	2.77
Penghematan Pertamax Map 4	25.19	1.48	5.55
Penghematan Pertamax Map 1 (standar) + Hidrogen	23.47	3.24	12.15
Penghematan Pertamax Map 2 + Hidrogen	23.14	3.51	13.19
Penghematan Pertamax Map 3 + Hidrogen	22.78	3.91	14.66
Penghematan Pertamax Map 4 + Hidrogen	22.44	4.25	15.97

Dari data tabel di atas maka dapat diketahui bahwa efisiensi rata-rata penggunaan bahan bakar pertamax yang paling maksimal adalah ketika menggunakan pengapian Map 4 (*timing* pengapian maju 3^0) dan dengan penambahan gas hidrogen pada ruang bakar. Efisiensi maksimal adalah sebesar 15.97 %. Efisiensi ini adalah efisiensi yang terjadi pada penggunaan bahan bakar pertamax dengan map 4 (Posisi derajat pengapian 33^0 sebelum titik mati atas) serta ditambahkan gas hidrogen terhadap penggunaan bahan bakar pertamax dengan kondisi pengapian standar tanpa penambahan gas hidrogen. 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 sehingga oktan bahan bakar menjadi naik untuk itu diperlukan pembakaran awal dengan memajukan posisi derajat pengapian agar kecepatan terbakarnya bahan bakar menjadi lebih cepat sehingga bahan bakar dapat terbakar semua.

- **Perbandingan Penggunaan Bahan Bakar Pertamax dan Premium Berdasarkan Derajat Pengapian**



Gambar 4.8 Grafik Konsumsi Bahan Bakar Premium dan Pertamax

Dari Grafik dapat terlihat bahwa memajukan derajat Pengapian dapat membuat konsumsi bahan bakar menjadi lebih irit. Hal tersebut karena memajukan posisi derajat pengapian membuat proses pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar menjadi lebih cepat sehingga bahan bakar dapat terbakar semua tepat saat langkah kompresi terjadi di titik mati atas. Apabila nilai oktan naik maka derajat pengapian idealnya dimajukan beberapa derajat dari posisi awal. Hal itu dikarenakan nilai oktan yang tinggi pada bahan bakar membuat bahan bakar menjadi lebih lama terbakar untuk itu diperlukan kompresi tinggi dan pembakaran awal pada bahan bakar agar bahan bakar dapat terbakar semua. Jadi, menambahkan gas hidrogen dan memajukan derajat Pengapian dapat membuat konsumsi bahan bakar menjadi lebih irit karena nilai oktan bahan bakar menjadi

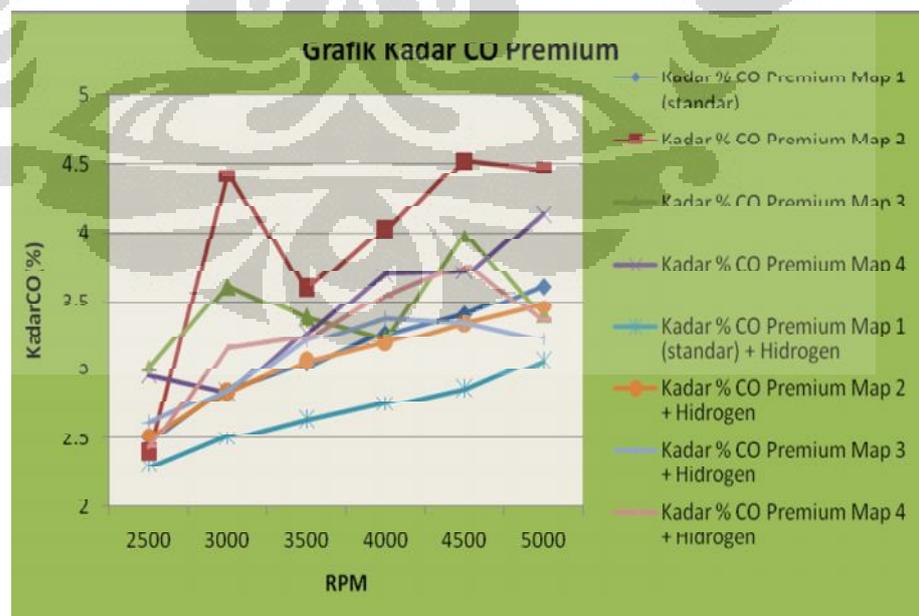
lebih tinggi setelah ditambahkan gas hidrogen dan dibutuhkan pembakaran awal pada bahan bakar agar bahan bakar dapat terbakar semua. Namun, terkadang memajukan posisi derajat pengapian tidak berpengaruh dan bisa berpengaruh tidak baik pada saat tertentu. Hal tersebut dikarenakan memajukan posisi derajat pengapian yang terlalu tinggi dapat membuat bahan bakar akan terbakar di awal sebelum titik mati atas untuk itu harus dicari posisi derajat pengapian yang tepat untuk proses pembakaran bahan bakar pada ruang bakar.

4.4. Analisis Emisi Gas Buang

4.4.1 Analisis Kandungan CO pada Gas Buang

- **Premium**

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.

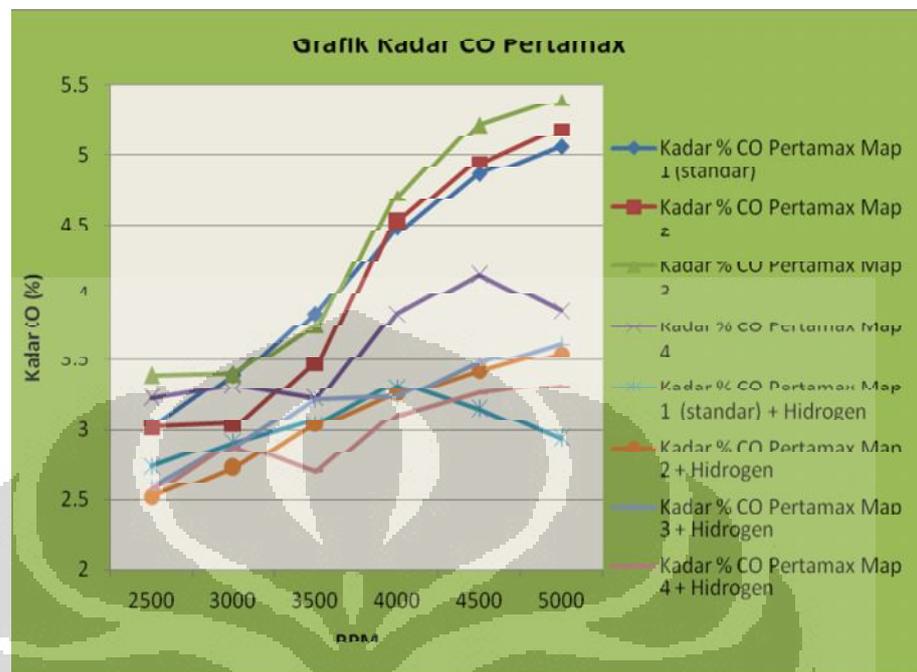


Gambar 4.9 Grafik Kandungan CO Bahan Bakar Premium

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa penambahan gas hidrogen serta semakin jauh posisi derajat *timing* pengapian dari Titik Mati Atas (TMA) memiliki dampak yang baik pada pembakaran di dalam ruang bakar. Dari grafik terlihat bahwa kandungan CO secara umum menurun dengan adanya penambahan gas hidrogen serta semakin jauhnya posisi derajat *timing* pengapian dari Titik Mati Atas (TMA). Kandungan CO paling tinggi terjadi pada putaran mesin 4500 rpm dengan kondisi mesin Map 2 tanpa penggunaan gas hidrogen, yaitu sebesar 4.52 %. Sedangkan kandungan CO paling rendah adalah pada putaran mesin 2500 rpm dengan kondisi Map 1 (posisi derajat pengapian standar 30^0 sebelum titik mati atas) dan penambahan gas hidrogen, yaitu sebesar 2.3 %.

Kandungan CO semakin meningkat seiring bertambahnya putaran mesin. Hal itu disebabkan karena kotornya knalpot dan ruang bakar sepeda motor yang belum dibersihkan saat pengujian berjalan. Kondisi idealnya adalah Kandungan CO semakin berkurang seiring bertambahnya putaran mesin. Namun, dengan adanya penambahan gas hidrogen dan posisi derajat pengapian yang semakin menjauh dari posisi awal 30^0 derajat sebelum titik mati atas, mengindikasikan bahwa pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar menjadi lebih baik.

- **Pertamax**



Gambar 4.10 Grafik Kandungan CO untuk Bahan Bakar Pertamax

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa penambahan gas hidrogen serta semakin jauh posisi derajat *timing* pengapian dari Titik Mati Atas (TMA) memiliki dampak yang baik pada pembakaran di dalam ruang bakar. Dari grafik terlihat bahwa kandungan CO secara umum menurun dengan adanya penambahan gas hidrogen serta semakin jauhnya posisi derajat *timing* pengapian dari Titik Mati Atas (TMA). Kandungan CO paling tinggi terjadi pada putaran mesin 5000 rpm dengan kondisi mesin Map 3 tanpa penggunaan gas hidrogen, yaitu sebesar 5.39 %. Sedangkan kandungan CO paling rendah adalah pada putaran mesin 2500 rpm dengan kondisi Map 2 dengan penambahan gas hidrogen, yaitu sebesar 2.52 %.

Kandungan CO semakin meningkat seiring bertambahnya putaran mesin. Hal itu disebabkan karena kotornya knalpot dan ruang bakar sepeda motor yang belum dibersihkan saat pengujian berjalan. Kondisi idealnya adalah Kandungan CO semakin berkurang seiring bertambahnya putaran mesin. Namun, dengan adanya penambahan gas hidrogen dan posisi derajat pengapian yang semakin menjauh dari

posisi awal 30^0 derajat sebelum titik mati atas, mengindikasikan bahwa pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar menjadi lebih baik.

- **Perbandingan Performa Bahan bakar Pertamina dan Bahan Bakar Premium**

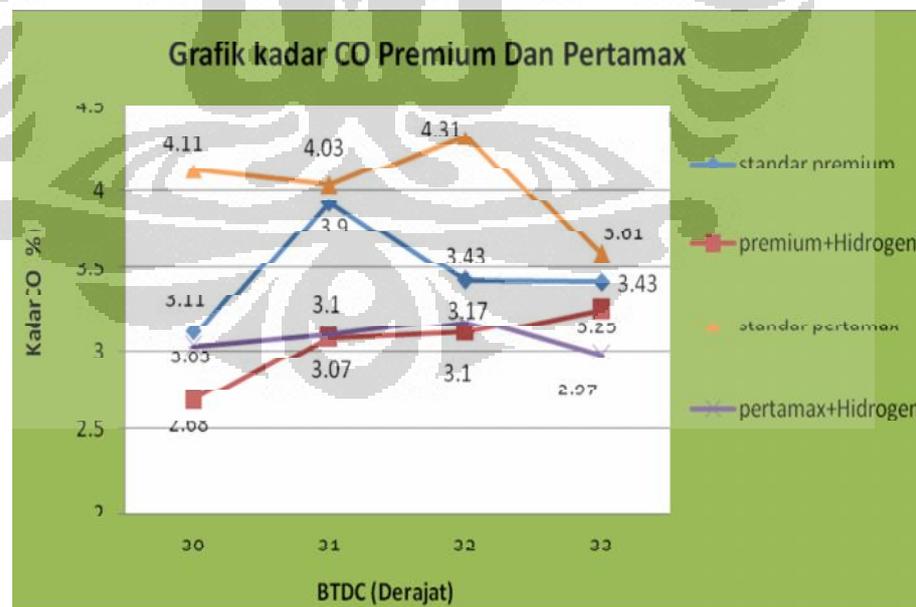
Untuk mengetahui perbandingan performa antara penggunaan bahan bakar premium dan pertamax, maka kondisi mesin standar tanpa penambahan gas hidrogen dengan bahan bakar premium akan dijadikan acuan. Berikut adalah tabel perbandingan performa penggunaan bahan bakar pertamax terhadap bahan bakar premium :

Tabel 4.4 Perbandingan Performa Pertamina dan Premium pada Kadar CO

Kadar % CO Emisi gas Buang	Rata-Rata Kadar CO (%)	Penurunan Kadar CO (%)
Kadar % CO Premium Map 1 (standar)	3.11	0
Kadar % CO Premium Map 2	3.9	-0.79
Kadar % CO Premium Map 3	3.44	-0.32
Kadar % CO Premium Map 4	3.42	-0.32
Kadar % CO Premium Map 1 (standar) + Hidrogen	2.68	0.42
Kadar % CO Premium Map 2 + Hidrogen	3.07	0.03
Kadar % CO Premium Map 3 + Hidrogen	3.11	0.005
Kadar % CO Premium Map 4 + Hidrogen	3.24	-0.14
Kadar % CO Pertamina Map 1 (standar)	4.11	-1
Kadar % CO Pertamina Map 2	4.02	-0.92
Kadar % CO Pertamina Map 3	4.31	-1.2
Kadar % CO Pertamina Map 4	3.6	-0.49
Kadar % CO Pertamina Map 1 (standar) + Hidrogen	3.02	0.08
Kadar % CO Pertamina Map 2 + Hidrogen	3.09	0.01
Kadar % CO Pertamina Map 3 + Hidrogen	3.17	-0.07
Kadar % CO Pertamina Map 4 + Hidrogen	2.97	0.13

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa penggunaan bahan bakar pertamax memiliki dampak yang lebih baik daripada penggunaan bahan bakar premium dalam hal penurunan kadar CO pada emisi gas buang. Penurunan maksimum kadar CO adalah dengan kondisi Map 1 dan dengan penambahan gas hidrogen dengan penggunaan bahan bakar premium, yaitu sebesar 0.42 %. Kandungan CO semakin meningkat seiring bertambahnya putaran mesin. Hal itu disebabkan karena kotornya knalpot dan ruang bakar sepeda motor yang belum dibersihkan saat pengujian berjalan. Kondisi idealnya adalah Kandungan CO semakin berkurang seiring bertambahnya putaran mesin . Namun, dengan adanya penambahan gas hidrogen dan posisi derajat pengapian yang semakin menjauh dari posisi awal 30⁰ derajat sebelum titik mati atas, mengindikasikan bahwa pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar menjadi lebih baik.

- **Perbandingan Performa Bahan Bakar Pertamax dan Premium Berdasarkan Derajat Pengapian**



Gambar 4.11 Grafik Kadar CO Bahan Bakar Premium dan Pertamax

Dari Grafik dapat terlihat bahwa memajukan derajat Pengapian dapat membuat kadar CO semakin berkurang . Kandungan CO

semakin meningkat seiring bertambahnya putaran mesin. Hal itu disebabkan karena kotornya knalpot dan ruang bakar sepeda motor yang belum dibersihkan saat pengujian berjalan. Kondisi idealnya adalah Kandungan CO semakin berkurang seiring bertambahnya putaran mesin. Namun, dengan adanya penambahan gas hidrogen dan posisi derajat pengapian yang semakin menjauh dari posisi awal 30⁰ derajat sebelum titik mati atas, mengindikasikan bahwa pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar menjadi lebih baik. Hal tersebut karena memajukan posisi derajat pengapian membuat proses pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar menjadi lebih cepat sehingga bahan bakar dapat terbakar semua tepat saat langkah kompresi terjadi di titik mati atas. Apabila nilai oktan naik maka derajat pengapian idealnya dimajukan beberapa derajat dari posisi awal. Hal itu dikarenakan nilai oktan yang tinggi pada bahan bakar membuat bahan bakar menjadi lebih lama terbakar untuk itu diperlukan kompresi tinggi dan pembakaran awal pada bahan bakar agar bahan bakar dapat terbakar semua. Jadi, menambahkan gas hidrogen dan memajukan derajat Pengapian dapat membuat kadar CO emisi gas buang berkurang karena nilai oktan bahan bakar menjadi lebih tinggi setelah ditambahkan gas hidrogen dan dibutuhkan pembakaran awal pada bahan bakar agar bahan bakar dapat terbakar semua. Namun, terkadang memajukan posisi derajat pengapian tidak berpengaruh dan bisa berpengaruh tidak baik pada saat tertentu. Hal tersebut dikarenakan memajukan posisi derajat pengapian yang terlalu tinggi dapat membuat bahan bakar akan terbakar di awal sebelum titik mati atas untuk itu harus dicari posisi derajat pengapian yang tepat untuk proses pembakaran bahan bakar pada ruang bakar

4.4.2 Analisis Kandungan CO₂ pada Gas Buang

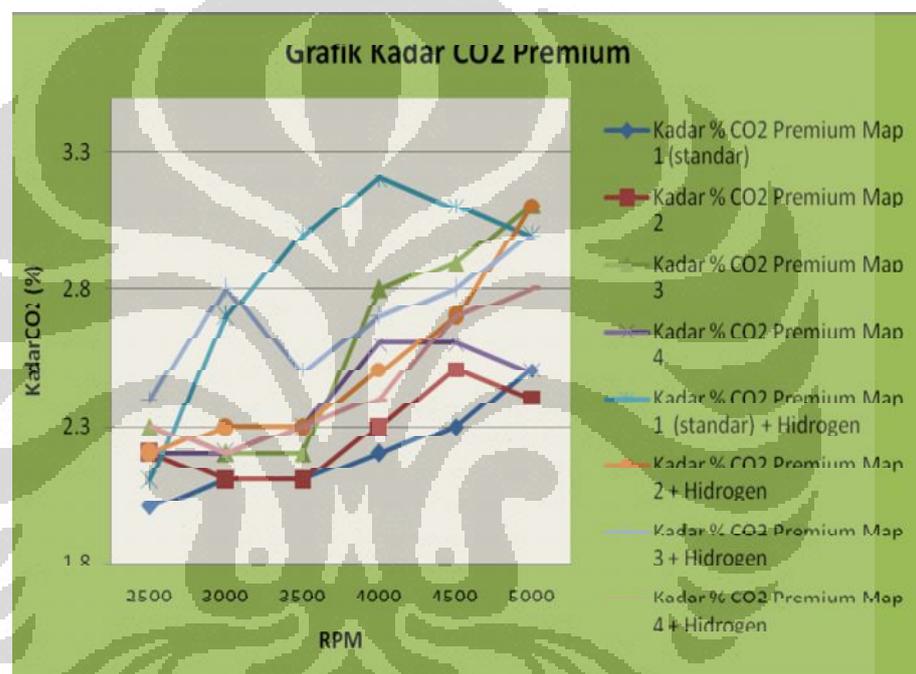
- **Premium**

Kandungan CO₂ yang dihasilkan pada gas buang mengindikasikan bahwa pembakaran cukup baik pada ruang bakar.

Semakin tinggi kadar CO₂ 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 CO₂ mengindikasikan bahwa pembakaran di ruang bakar terjadi dengan sempurna.



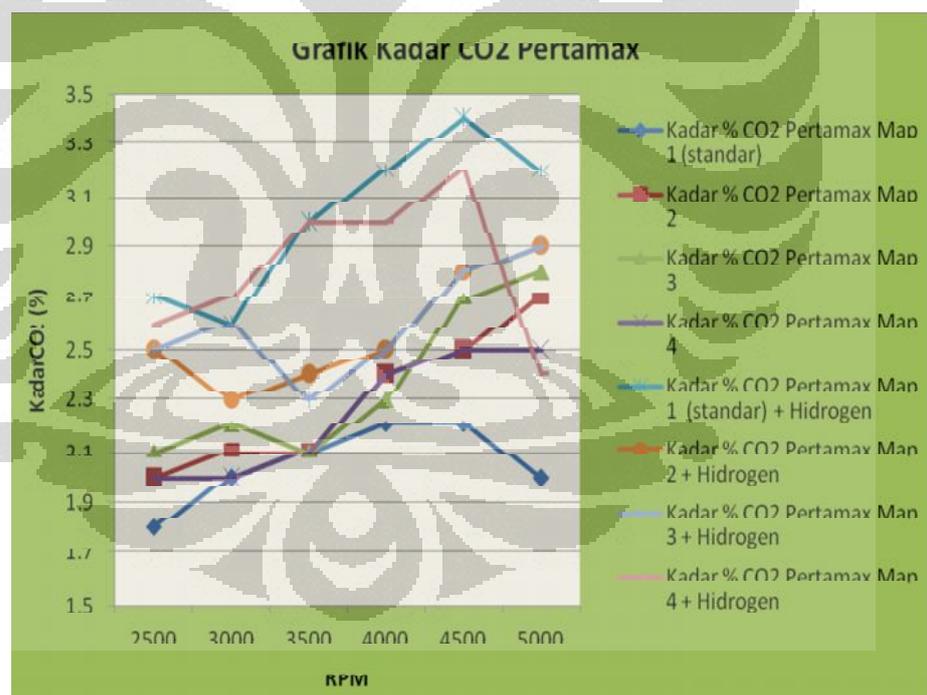
Gambar 4.12 Grafik Kandungan CO₂ Bahan Bakar Premium

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa penambahan gas hidrogen dapat mempengaruhi kualitas emisi gas buang. Dari grafik di atas terlihat bahwa kondisi mesin dengan pengapian standar serta dengan penambahan gas hidrogen memiliki kandungan gas CO₂ yang paling tinggi. Hal itu menunjukkan bahwa pembakaran yang terjadi dengan kondisi mesin tersebut adalah cukup baik. Kandungan CO₂ yang paling tinggi adalah ketika mesin menggunakan pengapian standar serta dengan penambahan gas hidrogen, yaitu sebesar 3.2 % pada 4000 rpm. Adapun kandungan CO₂ yang paling rendah adalah ketika mesin menggunakan Map 1 (pengapian standar dengan posisi

30⁰ sebelum titik mati atas) serta tanpa penambahan gas hidrogen, yaitu sebesar 2 % pada 4000 rpm. Dari grafik juga terlihat bahwa, meskipun telah ditambahkan gas hidrogen, namun semakin jauh posisi derajat *timing* pengapian tidak menyebabkan kandungan CO₂ semakin meningkat, namun justru dengan pengapian standar kandungan CO₂ mencapai jumlah maksimum. Hal tersebut terjadi karena pengapian standar dengan posisi 30⁰ sebelum titik mati atas dan penambahan gas hidrogen pada pemakaian bahan bakar premium membuat campuran bahan terbakar sempurna.

- **Pertamax**

Berikut akan ditampilkan grafik kandungan CO₂ pada penggunaan bahan bakar pertamax:



Gambar 4.13 Grafik Kandungan CO₂ Bahan Bakar Pertamax

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa penambahan gas hidrogen dapat mempengaruhi kualitas emisi gas buang. Dari grafik di atas terlihat bahwa kondisi mesin dengan pengapian standar serta dengan penambahan gas hidrogen memiliki kandungan gas CO₂ yang

paling tinggi. Hal itu menunjukkan bahwa pembakaran yang terjadi dengan kondisi mesin tersebut adalah cukup baik. Kandungan CO₂ yang paling tinggi adalah ketika mesin menggunakan pengapian standar serta dengan penambahan gas hidrogen, yaitu sebesar 3.4 % pada 4500 rpm. Adapun kandungan CO₂ yang paling rendah adalah ketika mesin menggunakan pengapian standar tanpa penambahan gas hidrogen, yaitu sebesar 1.8 % pada 2500 rpm. Dari grafik juga terlihat bahwa, meskipun telah ditambahkan gas hidrogen, namun semakin jauh posisi derajat *timing* pengapian tidak menyebabkan kandungan CO₂ semakin meningkat, namun justru dengan pengapian standar kandungan CO₂ mencapai jumlah maksimum. Hal tersebut terjadi karena pengapian standar dengan posisi 30° sebelum titik mati atas dan penambahan gas hidrogen pada pemakaian bahan bakar premium membuat campuran bahan terbakar terbakar sempurna.

- **Perbandingan Performa Bahan Bakar Pertamina dan Bahan Bakar Premium**

Untuk mengetahui perbandingan performa antara penggunaan bahan bakar premium dan Pertamina, maka kondisi mesin standar tanpa penambahan gas hidrogen dengan bahan bakar premium akan dijadikan acuan. Berikut adalah tabel perbandingan performa penggunaan bahan bakar Pertamina terhadap bahan bakar premium :

Tabel 4.5 Perbandingan Performa Pertamina dan Premium pada Kadar CO₂

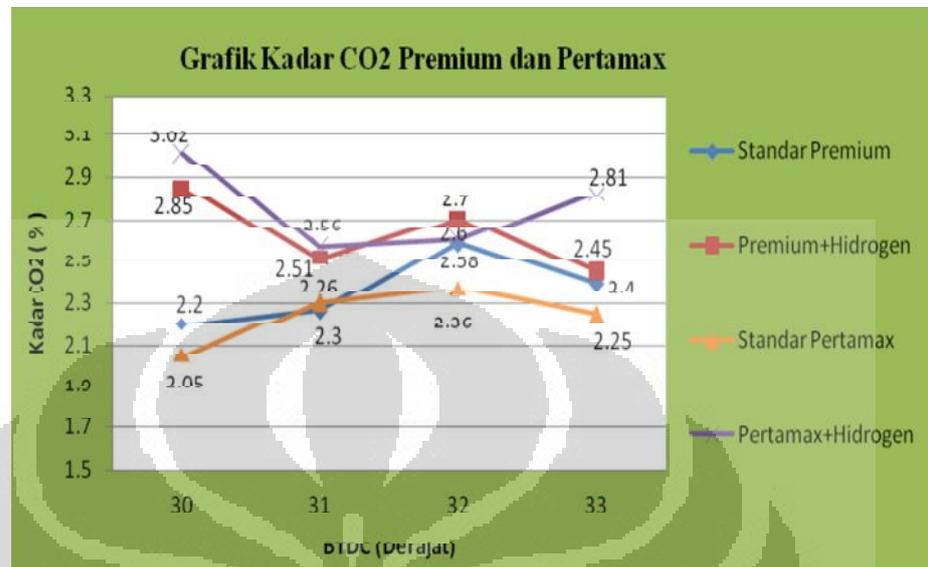
Kadar % CO ₂ Emisi Gas Buang	Rata-Rata Kadar CO ₂ (%)	Penurunan Kadar CO ₂ (%)
Kadar % CO ₂ Premium Map 1 (standar)	2.2	0
Kadar % CO ₂ Premium Map 2	2.26	-0.07
Kadar % CO ₂ Premium Map 3	2.58	-0.38
Kadar % CO ₂ Premium Map 4	2.4	-0.2
Kadar % CO ₂ Premium Map 1 (standar) + Hidrogen	2.85	-0.65

Tabel 4.5 Perbandingan Performa Pertamina dan Premium pada Kadar CO₂ (Sambungan)

Kadar % CO ₂ Emisi Gas Buang	Rata-Rata Kadar CO ₂ (%)	Penurunan Kadar CO ₂ (%)
Kadar % CO ₂ Premium Map 2 + Hidrogen	2.51	-0.37
Kadar % CO ₂ Premium Map 3 + Hidrogen	2.7	-0.5
Kadar % CO ₂ Premium Map 4 + Hidrogen	2.45	-0.25
Kadar % CO ₂ Pertamina Map 1 (standar)	2.05	0.15
Kadar % CO ₂ Pertamina Map 2	2.3	-0.1
Kadar % CO ₂ Pertamina Map 3	2.37	-0.17
Kadar % CO ₂ Pertamina Map 4	2.25	-0.05
Kadar % CO ₂ Pertamina Map 1 (standar) + Hidrogen	3.017	-0.82
Kadar % CO ₂ Pertamina Map 2 + Hidrogen	2.57	-0.37
Kadar % CO ₂ Pertamina Map 3 + Hidrogen	2.6	-0.4
Kadar % CO ₂ Pertamina Map 4 + Hidrogen	2.87	-0.62

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa penggunaan bahan bakar premium memiliki dampak yang lebih baik daripada penggunaan bahan bakar Pertamina dalam hal peningkatan kadar CO₂ pada emisi gas buang. Peningkatan maksimum kadar CO₂ adalah dengan kondisi pengapian standar dan dengan penambahan gas hidrogen dengan penggunaan bahan bakar Pertamina, yaitu sebesar 0.8167 %. Hal tersebut terjadi karena pengapian standar dengan posisi 30⁰ sebelum titik mati atas dan penambahan gas hidrogen pada pemakaian bahan bakar premium membuat campuran bahan terbakar terbakar sempurna.

- **Perbandingan Performa Bahan Bakar Pertamax dan Premium Berdasarkan Derajat Pengapian**



Gambar 4.14 Grafik Kadar CO₂ Bahan Bakar Premium dan Pertamax

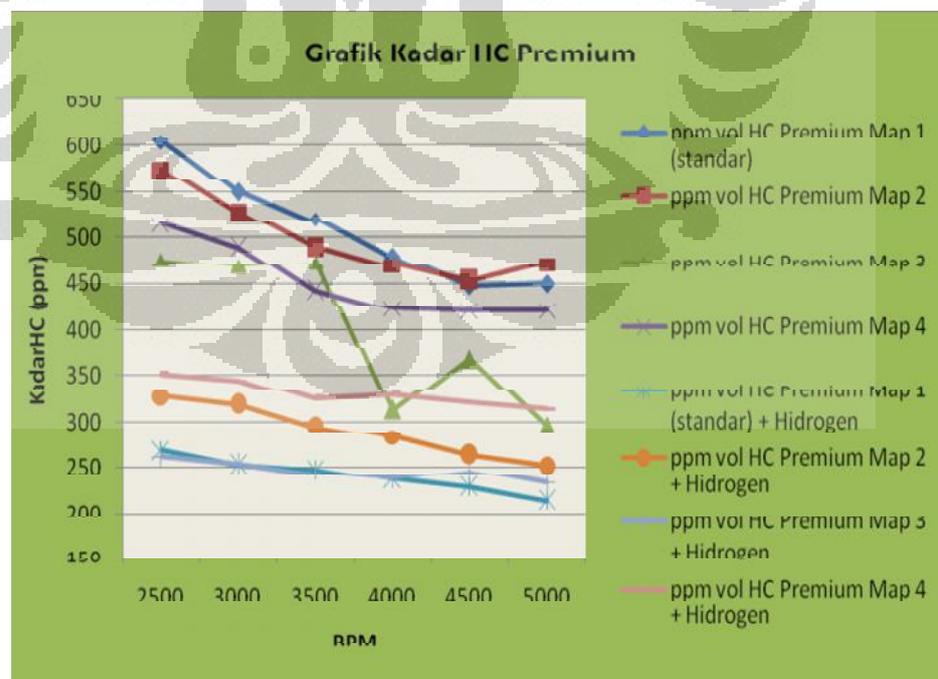
Dari Grafik dapat terlihat bahwa memajukan derajat Pengapian dapat membuat kadar CO₂ semakin bertambah. Kandungan CO₂ semakin meningkat seiring bertambahnya putaran mesin dan pembakaran akan semakin baik karena AFR semakin meningkat seiring bertambahnya putaran mesin. Namun, dengan adanya penambahan gas hidrogen dan posisi derajat pengapian yang semakin menjauh dari posisi awal 30⁰ derajat sebelum titik mati atas, mengindikasikan bahwa pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar menjadi lebih baik. Hal tersebut karena memajukan posisi derajat pengapian membuat proses pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar menjadi lebih cepat sehingga bahan bakar dapat terbakar semua tepat saat langkah kompresi terjadi di titik mati atas. Apabila nilai oktan naik maka derajat pengapian idealnya dimajukan beberapa derajat dari posisi awal. Hal itu dikarenakan nilai oktan yang tinggi pada bahan bakar membuat bahan bakar menjadi lebih lama terbakar untuk itu diperlukan kompresi tinggi dan pembakaran awal pada bahan bakar agar bahan bakar dapat terbakar semua. Jadi, menambahkan gas hidrogen dan memajukan derajat Pengapian dapat

membuat kadar CO_2 emisi gas buang bertambah karena nilai oktan bahan bakar menjadi lebih tinggi setelah ditambahkan gas hidrogen dan dibutuhkan pembakaran awal pada bahan bakar agar bahan bakar dapat terbakar semua. Namun, terkadang memajukan posisi derajat pengapian tidak berpengaruh dan bisa berpengaruh tidak baik pada saat tertentu. Hal tersebut dikarenakan memajukan posisi derajat pengapian yang terlalu tinggi dapat membuat bahan bakar akan terbakar di awal sebelum titik mati atas untuk itu harus dicari posisi derajat pengapian yang tepat untuk proses pembakaran bahan bakar pada ruang bakar yang sempurna.

4.4.3 Analisis Kandungan HC pada Gas Buang

- **Premium**

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*).

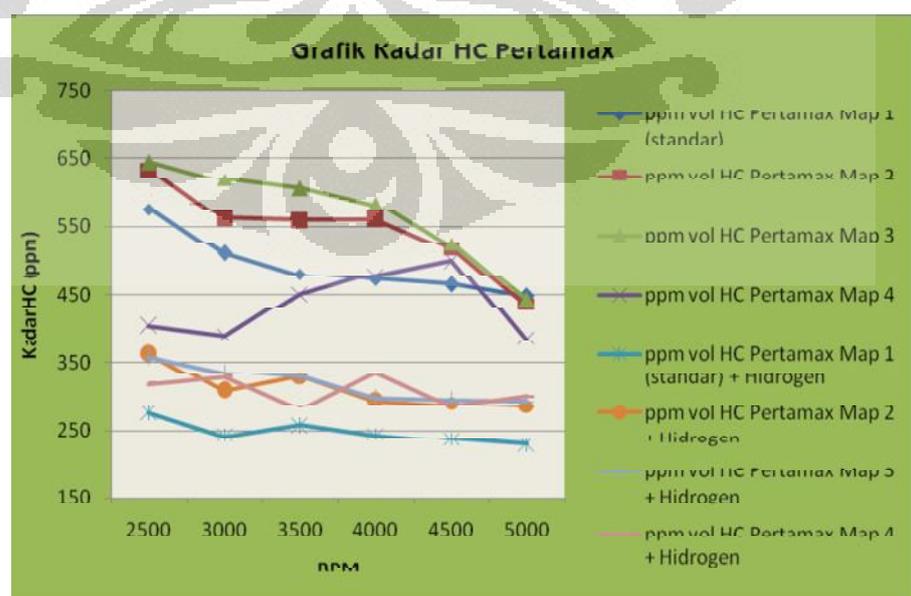


Gambar 4.15 Grafik Kandungan HC Bahan Bakar Premium

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. Posisi derajat *timing* pengapian yang semakin jauh dari Titik Mati Atas (TMA) juga menyebabkan kandungan HC pada gas buang jumlahnya semakin menurun. Kandungan HC yang paling rendah adalah pada putaran mesin 5000 rpm, yaitu sebesar 213 ppm dengan kondisi mesin menggunakan pengapian standar dan dengan ditambahkan gas hidrogen. Adapun kandungan HC paling tinggi adalah pada putaran mesin 2500 rpm, yaitu sebesar 605 ppm dengan kondisi mesin standar tanpa tambahan gas hidrogen. Hal tersebut terjadi karena pengapian standar dengan posisi 30° sebelum titik mati atas dan penambahan gas hidrogen pada pemakaian bahan bakar premium membuat campuran bahan terbakar terbakar sempurna

- **Pertamax**

Berikut akan ditampilkan grafik kandungan HC pada gas buang dengan penggunaan bahan bakar pertamax :



Gambar 4.16 Grafik Kandungan HC Bahan Bakar Pertamina

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. Posisi derajat *timing* pengapian yang semakin jauh dari Titik Mati Atas (TMA) juga menyebabkan kandungan HC pada gas buang jumlahnya semakin menurun. Kandungan HC yang paling rendah adalah pada putaran mesin 5000 rpm, yaitu sebesar 227 ppm dengan kondisi mesin menggunakan pengapian standar dan dengan ditambahkan gas hidrogen. Adapun kandungan HC paling tinggi adalah pada putaran mesin 2500 rpm, yaitu sebesar 645 ppm dengan kondisi mesin Map 3 tanpa tambahan gas hidrogen. Hal tersebut terjadi karena pengapian standar dengan posisi 30^0 sebelum titik mati atas dan penambahan gas hidrogen pada pemakaian bahan bakar premium membuat campuran bahan terbakar sempurna.

- **Perbandingan Performa Bahan Bakar Pertamina dan Bahan Bakar Premium**

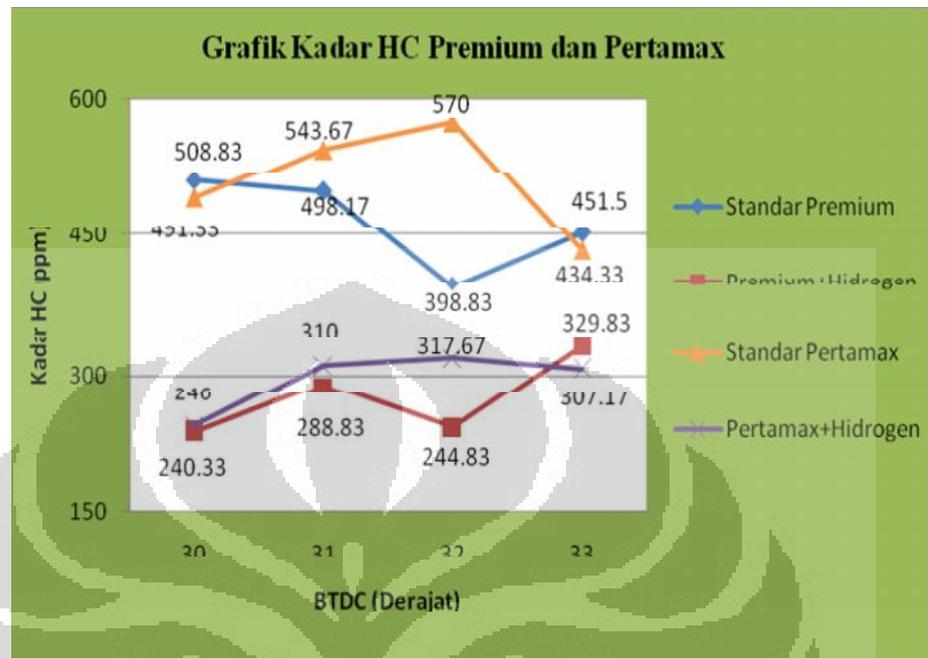
Untuk mengetahui perbandingan performa antara penggunaan bahan bakar premium dan Pertamina, maka kondisi mesin standar tanpa penambahan gas hidrogen dengan bahan bakar premium akan dijadikan acuan. Berikut adalah tabel perbandingan performa penggunaan bahan bakar Pertamina terhadap bahan bakar premium :

Tabel 4.6 Perbandingan Performa Pertamax dan Premium pada Kadar HC

ppm vol HC Emisi Gas Buang	Rata-Rata Kadar HC (ppm)	Penurunan Kadar HC (ppm)
ppm vol HC Premium Map 1 (standar)	508.83	0
ppm vol HC Premium Map 2	498.167	10.67
ppm vol HC Premium Map 3	398.83	110
ppm vol HC Premium Map 4	451.5	57.33
ppm vol HC Premium Map 1 (standar) + Hidrogen	240.33	268.5
ppm vol HC Premium Map 2 + Hidrogen	288.83	220
ppm vol HC Premium Map 3 + Hidrogen	244.83	264
ppm vol HC Premium Map 4 + Hidrogen	329.83	179
ppm vol HC Pertamax Map 1 (standar)	491.33	17.5
ppm vol HC Pertamax Map 2	543.67	-34.83
ppm vol HC Pertamax Map 3	570	-61.17
ppm vol HC Pertamax Map 4	434.33	74.5
ppm vol HC Pertamax Map 1 (standar) + Hidrogen	246	262.83
ppm vol HC Pertamax Map 2 + Hidrogen	310	198.83
ppm vol HC Pertamax Map 3 + Hidrogen	317.67	191.16
ppm vol HC Pertamax Map 4 + Hidrogen	307.17	201.66

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa penggunaan bahan bakar premium memiliki dampak yang lebih baik daripada penggunaan bahan bakar pertamax dalam hal penurunan kadar HC pada emisi gas buang. Penurunan maksimum kadar HC adalah dengan kondisi pengapian standar dan dengan penambahan gas hidrogen dengan penggunaan bahan bakar premium, yaitu sebesar 268 ppm. Hal tersebut terjadi karena pengapian standar dengan posisi 30° sebelum titik mati atas dan penambahan gas hidrogen pada pemakaian bahan bakar premium membuat campuran bahan terbakar terbakar sempurna.

- **Perbandingan Performa Bahan Bakar Pertamax dan Premium Berdasarkan Derajat Pengapian**



Gambar 4.17 Grafik Kadar HC Bahan Bakar Premium dan Pertamax

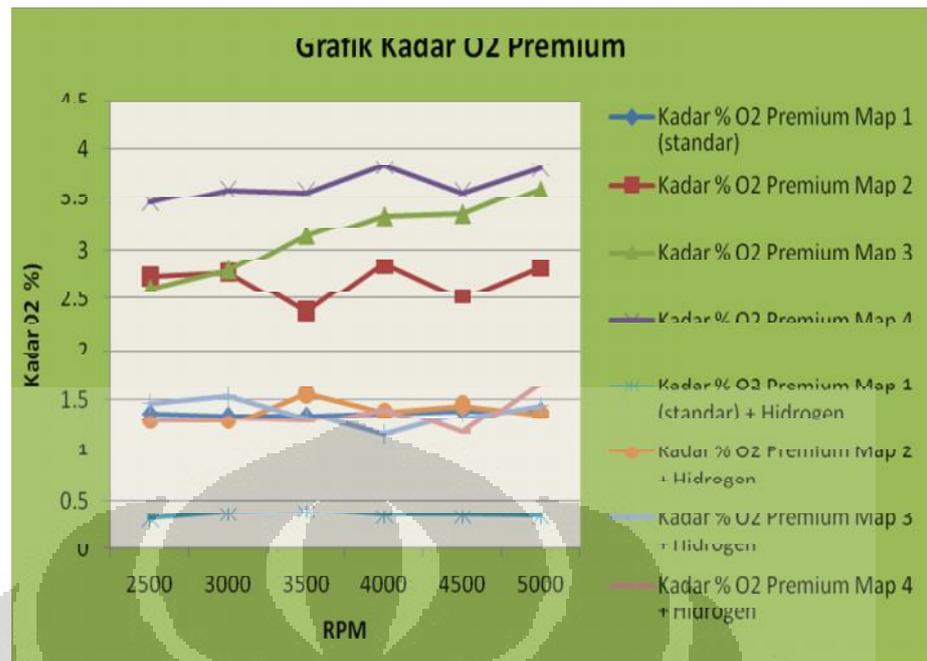
Dari Grafik dapat terlihat bahwa memajukan derajat Pengapian dapat membuat kadar HC semakin berkurang. Kandungan HC semakin berkurang seiring bertambahnya putaran mesin dan pembakaran akan semakin baik karena AFR semakin meningkat seiring bertambahnya putaran mesin. Namun, dengan adanya penambahan gas hidrogen dan posisi derajat pengapian yang semakin menjauh dari posisi awal 30^0 derajat sebelum titik mati atas, mengindikasikan bahwa pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar menjadi lebih baik. Hal tersebut karena memajukan posisi derajat pengapian membuat proses pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar menjadi lebih cepat sehingga bahan bakar dapat terbakar semua tepat saat langkah kompresi terjadi di titik mati atas. Apabila nilai oktan naik maka derajat pengapian idealnya dimajukan beberapa derajat dari posisi awal. Hal itu dikarenakan nilai oktan yang tinggi pada bahan bakar membuat bahan bakar menjadi lebih lama terbakar untuk itu diperlukan kompresi tinggi dan pembakaran awal pada bahan bakar agar bahan bakar dapat terbakar semua. Jadi,

menambahkan gas hidrogen dan memajukan derajat Pengapian dapat membuat kadar HC emisi gas buang berkurang karena nilai oktan bahan bakar menjadi lebih tinggi setelah ditambahkan gas hidrogen dan dibutuhkan pembakaran awal pada bahan bakar agar bahan bakar dapat terbakar semua. Namun, terkadang memajukan posisi derajat pengapian tidak berpengaruh dan bisa berpengaruh tidak baik pada saat tertentu. Hal tersebut dikarenakan memajukan posisi derajat pengapian yang terlalu tinggi dapat membuat bahan bakar akan terbakar di awal sebelum titik mati atas untuk itu harus dicari posisi derajat pengapian yang tepat untuk proses pembakaran bahan bakar pada ruang bakar yang sempurna.

4.4.4 Analisis Kandungan O₂ pada Gas Buang

- **Premium**

Kandungan gas O₂ yang semakin kecil pada gas buang menunjukkan bahwa pembakaran semakin baik. Hal itu dikarenakan gas O₂ digunakan sebagai pereaksi pada reaksi pembakaran, sehingga gas O₂ bukanlah hasil dari pembakaran. Oleh karena itu, dengan kandungan gas O₂ yang semakin kecil pada gas buang, maka mengindikasikan bahwa pembakaran di dalam ruang bakar semakin baik.

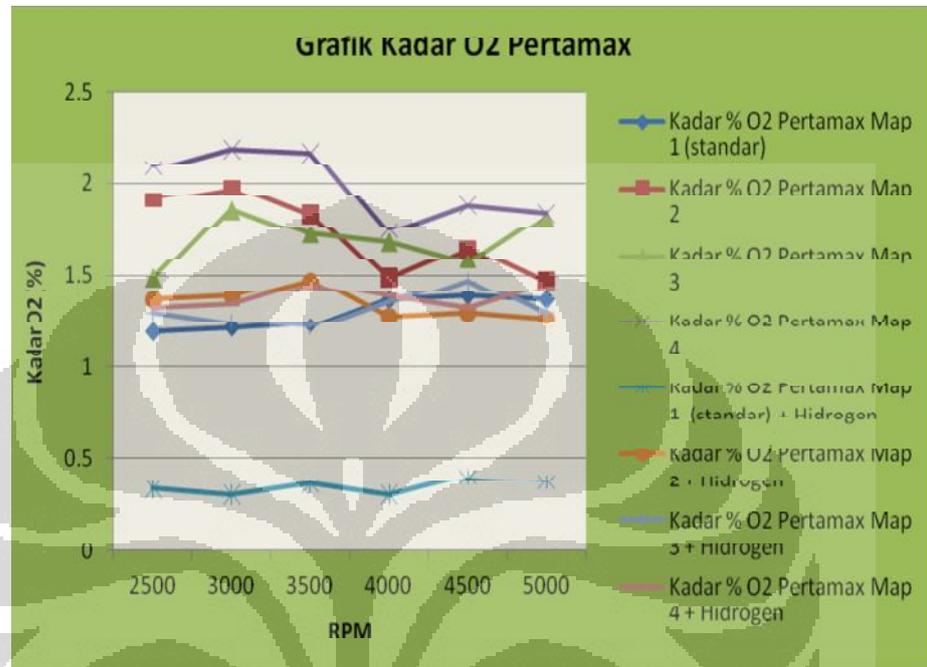


Gambar 4.18 Grafik Kandungan O₂ Bahan Bakar Premium

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa dengan penambahan gas hidrogen, maka kandungan gas O₂ pada gas buang semakin menurun. Hal itu menunjukkan bahwa penambahan gas hidrogen dapat memperbaiki pembakaran di dalam ruang bakar. Posisi derajat *timing* pengapian yang semakin jauh dari Titik Mati Atas (TMA) dan dengan dikombinasikan dengan penambahan gas hidrogen terlihat mampu mengurangi kadar gas O₂ pada emisi gas buang. kandungan gas O₂ tertinggi terjadi pada putaran mesin 5000 rpm, yaitu sebesar 3.8 % dengan kondisi mesin menggunakan Map 4 tanpa penambahan gas hidrogen. Adapun kandungan gas O₂ terendah terjadi pada putaran mesin 3000 rpm, yaitu sebesar 0.23 % dengan kondisi Map 4 dengan penambahan gas hidrogen dan saat putaran mesin 2500 rpm, yaitu sebesar 0.31 % dengan kondisi pengapian standar dengan penambahan gas hidrogen. Hal tersebut terjadi karena pengapian standar dengan posisi 30° sebelum titik mati atas dan penambahan gas hidrogen pada pemakaian bahan bakar premium membuat campuran bahan terbakar sempurna.

- **Pertamax**

Berikut akan ditampilkan grafik kandungan O_2 pada emisi gas buang dengan penggunaan bahan bakar pertamax :



Gambar 4.19 Grafik Kandungan O_2 Bahan Bakar Pertamax

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. Posisi derajat *timing* pengapian yang semakin jauh dari Titik Mati Atas (TMA) dan dengan dikombinasikan dengan penambahan gas hidrogen terlihat mampu mengurangi kadar gas O_2 pada emisi gas buang. kandungan gas O_2 tertinggi terjadi pada putaran mesin 3000 rpm, yaitu sebesar 2.18 % dengan kondisi mesin menggunakan Map 4 tanpa penambahan gas hidrogen. Adapun kandungan gas O_2 terendah terjadi pada putaran mesin 4000 rpm, yaitu sebesar 0.31 % dengan kondisi pengapian standar dan dengan penambahan gas hidrogen. Hal tersebut terjadi karena pengapian standar dengan posisi 30° sebelum titik mati atas dan penambahan gas hidrogen pada pemakaian bahan bakar premium membuat campuran bahan terbakar sempurna.

- **Perbandingan Performa Bahan Bakar Pertamina dan Bahan Bakar Premium**

Untuk mengetahui perbandingan performa antara penggunaan bahan bakar premium dan pertamax, maka kondisi mesin standar tanpa penambahan gas hidrogen dengan bahan bakar premium akan dijadikan acuan. Berikut adalah tabel perbandingan performa penggunaan bahan bakar pertamax terhadap bahan bakar premium :

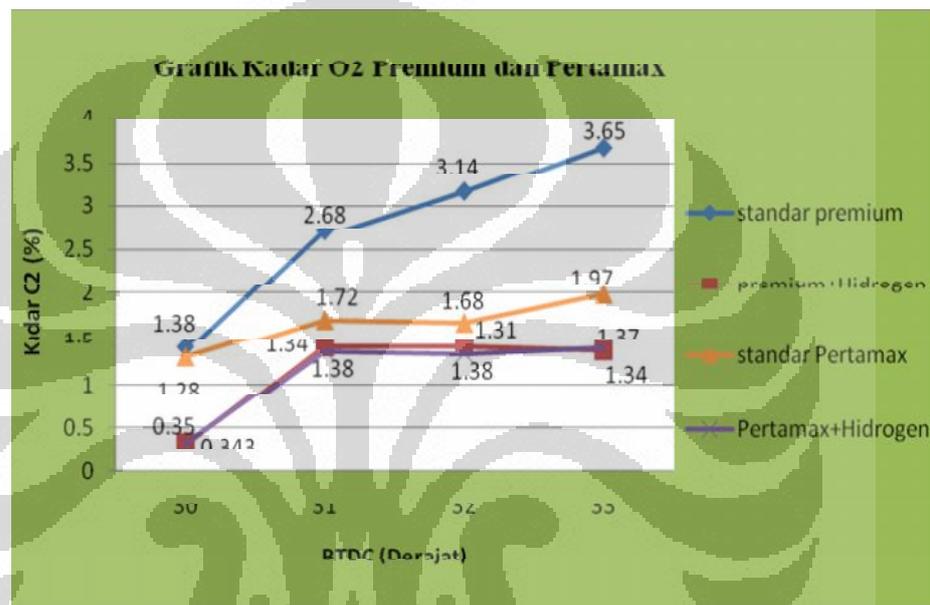
Tabel 4.7 Perbandingan Performa Pertamina dan Premium pada Kadar O₂

Kadar % O ₂ Emisi Gas Buang	Rata-Rata Kadar O ₂ (%)	Penurunan Kadar O ₂ (%)
Kadar % O ₂ Premium Map 1 (standar)	1.38	0
Kadar % O ₂ Premium Map 2	2.68	-1.3
Kadar % O ₂ Premium Map 3	3.14	-1.76
Kadar % O ₂ Premium Map 4	3.65	-2.26
Kadar % O ₂ Premium Map 1 (standar) + Hidrogen	0.34	1.037
Kadar % O ₂ Premium Map 2 + Hidrogen	1.38	-0.0067
Kadar % O ₂ Premium Map 3 + Hidrogen	1.38	-0.0017
Kadar % O ₂ Premium Map 4 + Hidrogen	1.34	0.032
Kadar % O ₂ Pertamina Map 1 (standar)	1.28	0.092
Kadar % O ₂ Pertamina Map 2	1.71	-0.33
Kadar % O ₂ Pertamina Map 3	1.68	-0.308
Kadar % O ₂ Pertamina Map 4	1.97	-0.59
Kadar % O ₂ Pertamina Map 1 (standar) + Hidrogen	0.35	1.03
Kadar % O ₂ Pertamina Map 2 + Hidrogen	1.34	0.036
Kadar % O ₂ Pertamina Map 3 + Hidrogen	1.32	0.065
Kadar % O ₂ Pertamina Map 4 + Hidrogen	1.37	0.005

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa penggunaan bahan bakar premium memiliki dampak yang lebih baik daripada penggunaan bahan bakar pertamax dalam hal penurunan kadar O₂ pada emisi gas buang. Penurunan maksimum kadar O₂ adalah dengan kondisi Map 1 dan dengan penambahan gas hidrogen dengan

penggunaan bahan bakar premium, yaitu sebesar 1.037 %. Hal tersebut terjadi karena pengapian standar dengan posisi 30^0 sebelum titik mati atas dan penambahan gas hidrogen pada pemakaian bahan bakar premium membuat campuran bahan terbakar terbakar sempurna.

- **Perbandingan Performa Bahan Bakar Pertamax dan Premium Berdasarkan Derajat Pengapian**



Gambar 4.20 Grafik Kadar O₂ Bahan Bakar Premium dan Pertamax

Dari Grafik dapat terlihat bahwa memajukan derajat Pengapian dapat membuat kadar O₂ semakin berkurang. Kandungan O₂ semakin berkurang seiring bertambahnya putaran mesin dan pembakaran akan semakin baik karena AFR semakin meningkat seiring bertambahnya putaran mesin. Namun, dengan adanya penambahan gas hidrogen dan posisi derajat pengapian yang semakin menjauh dari posisi awal 30^0 derajat sebelum titik mati atas, mengindikasikan bahwa pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar menjadi lebih baik. Hal tersebut karena memajukan posisi derajat pengapian membuat proses pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar menjadi lebih cepat sehingga bahan bakar dapat terbakar semua tepat saat langkah kompresi terjadi di titik mati atas. Apabila nilai oktan naik maka

derajat pengapian idealnya dimajukan beberapa derajat dari posisi awal. Hal itu dikarenakan nilai oktan yang tinggi pada bahan bakar membuat bahan bakar menjadi lebih lama terbakar untuk itu diperlukan kompresi tinggi dan pembakaran awal pada bahan bakar agar bahan bakar dapat terbakar semua. Jadi, menambahkan gas hidrogen dan memajukan derajat Pengapian dapat membuat kadar O_2 emisi gas buang berkurang karena nilai oktan bahan bakar menjadi lebih tinggi setelah ditambahkan gas hidrogen dan dibutuhkan pembakaran awal pada bahan bakar agar bahan bakar dapat terbakar semua. Namun, terkadang memajukan posisi derajat pengapian tidak berpengaruh dan bisa berpengaruh tidak baik pada saat tertentu. Hal tersebut dikarenakan memajukan posisi derajat pengapian yang terlalu tinggi dapat membuat bahan bakar akan terbakar di awal sebelum titik mati atas untuk itu harus dicari posisi derajat pengapian yang tepat untuk proses pembakaran bahan bakar pada ruang bakar yang sempurna.

4.5. Analisis Daya Keluaran dan Torsi

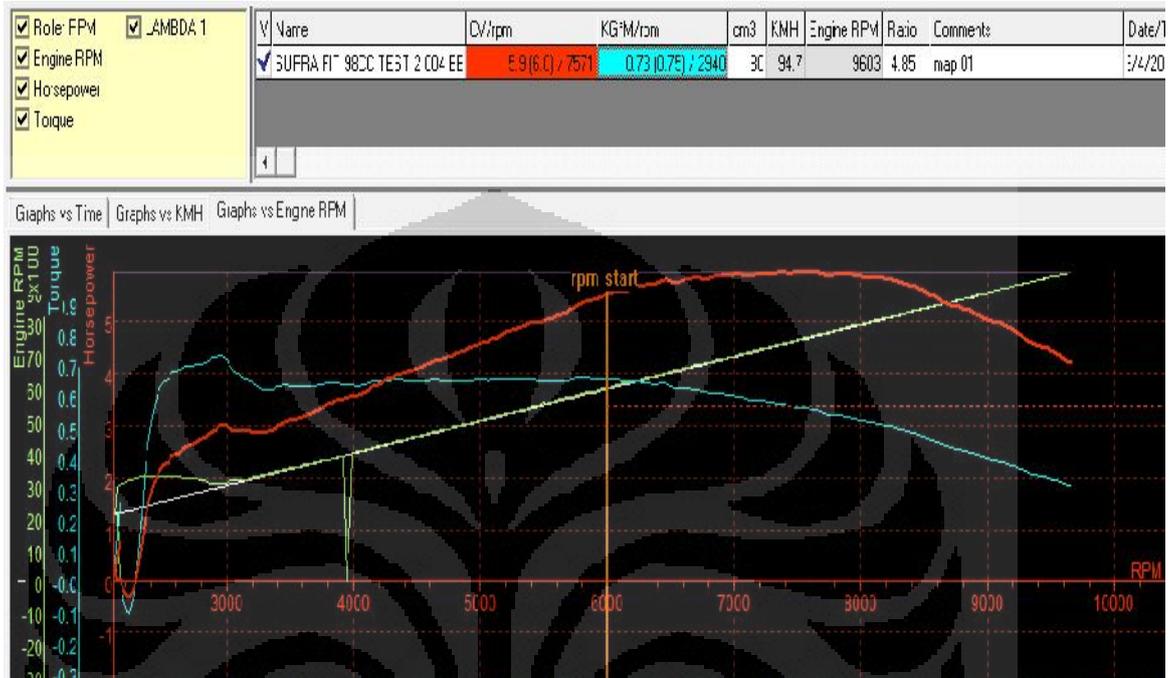
Brake Horse Power (BHP) merupakan *out put* dari sebuah pengujian dimana merupakan hasil pengalihan antara torsi dengan rpm dibagi dengan lengan momen.

- $BHP = (Torsi \times rpm) / \text{lengan momen}$
- $Torsi = Gaya \times \text{lengan momen (Kg.m)}$

Berikut grafik *Power* dan Torsi:

- **Premium**

1. **Pengapian standar tanpa gas hydrogen**



Gambar 4.21 Grafik BHP dan Torsi Pengapian Standar Tanpa Gas Hidrogen Premium

Dari grafik dapat dilihat untuk kondisi mesin dengan pengapian standar dan tanpa penambahan gas hidrogen memiliki BHP maksimum sebesar 5.9 HP pada 7571 rpm dan Torsi mesin maksimum sebesar 0.73 kg.m pada 2940 rpm.

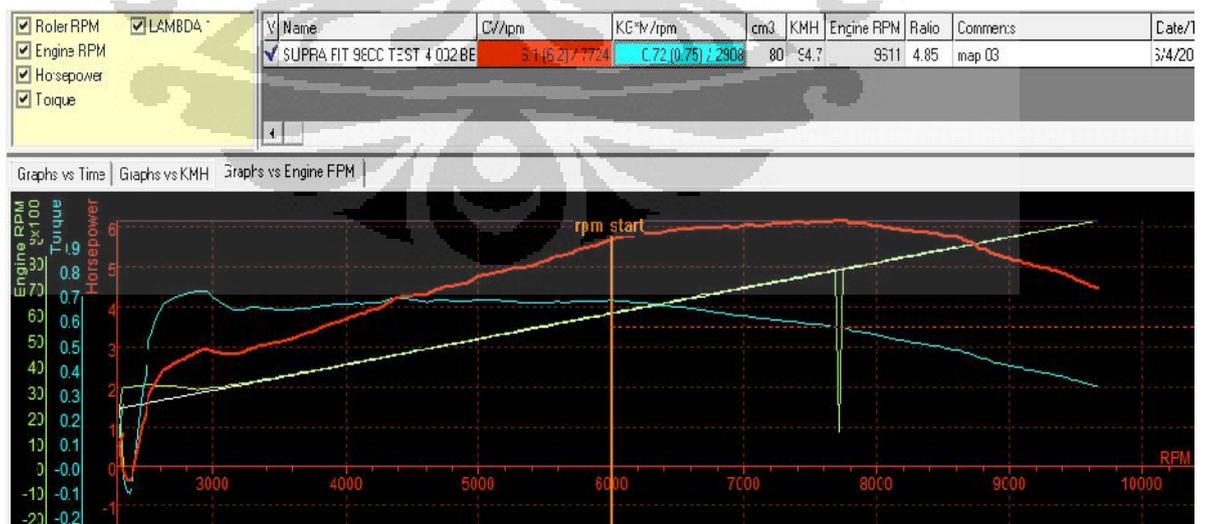
2. Pengapian Map 2 tanpa gas hydrogen



Gambar 4.22 Grafik BHP dan Torsi Map 2 Tanpa Gas Hidrogen Premium

Dari grafik dapat dilihat untuk kondisi mesin dengan Map 2 dan tanpa penambahan gas hidrogen memiliki BHP maksimum sebesar 6.2 HP pada 7552 rpm dan Torsi mesin maksimum sebesar 0.74 kg.m pada 2964 rpm.

3. Pengapian Map 3 tanpa gas hydrogen



Gambar 4.23 Grafik BHP dan Torsi Map 3 Tanpa Gas Hidrogen Premium

Dari grafik dapat dilihat untuk kondisi mesin dengan Map 3 dan tanpa penambahan gas hidrogen memiliki BHP maksimum sebesar 6.1 HP pada 7724 rpm dan Torsi mesin maksimum sebesar 0.72 kg.m pada 2908 rpm.

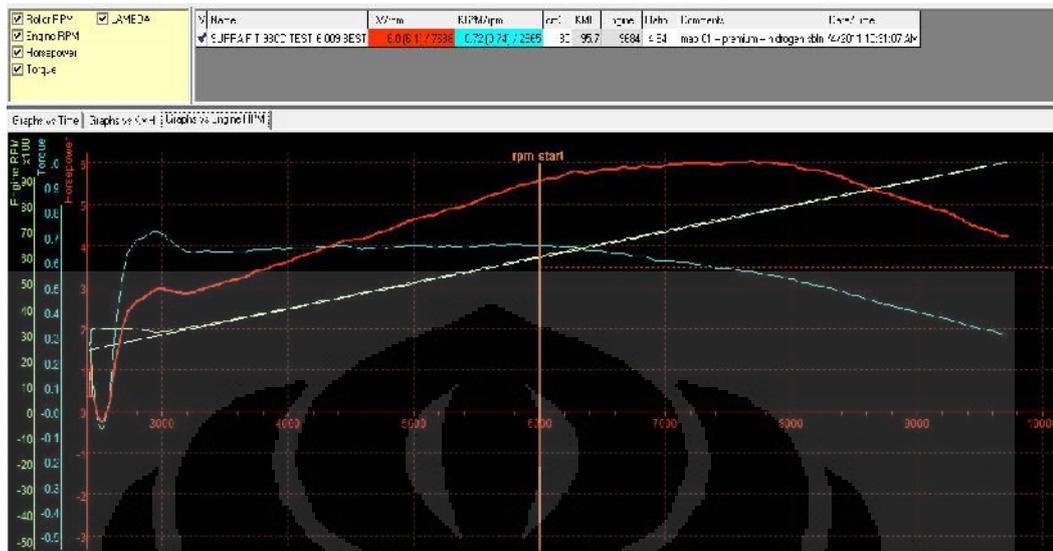
4. Pengapian Map 4 tanpa gas hydrogen



Gambar 4.24 Grafik BHP dan Torsi Map 4 Tanpa Gas Hidrogen Premium

Dari grafik dapat dilihat untuk kondisi mesin dengan Map 4 dan tanpa penambahan gas hidrogen memiliki BHP maksimum sebesar 6.1 HP pada 7643 rpm dan Torsi mesin maksimum sebesar 0.75 kg.m pada 3056 rpm.

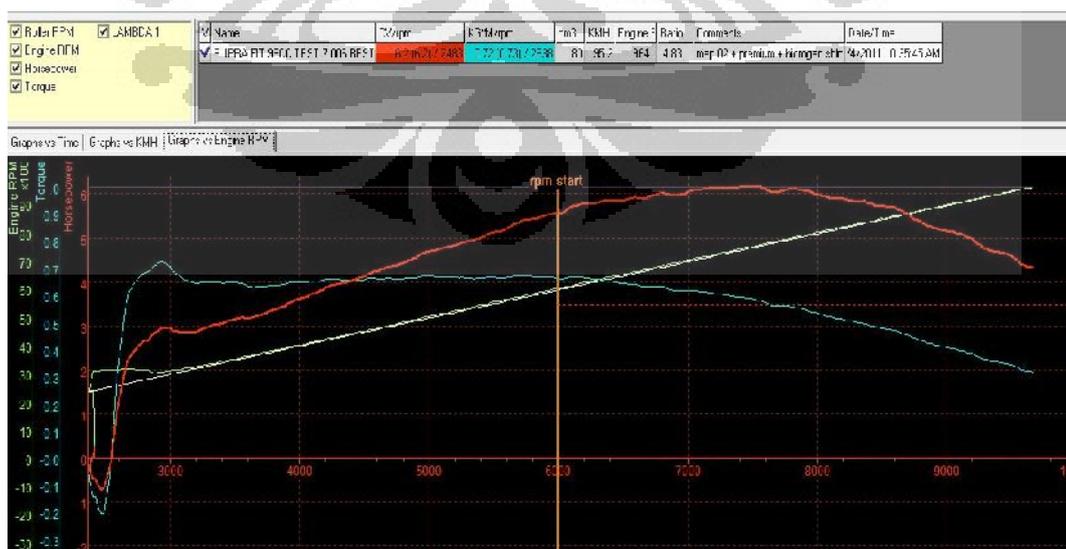
5. Pengapian standar dan dengan gas hydrogen



Gambar 4.25 Grafik BHP dan Torsi Pengapian Standar + Gas Hidrogen Premium

Dari grafik dapat dilihat untuk kondisi mesin dengan pengapian standar dan dengan penambahan gas hidrogen memiliki BHP maksimum sebesar 6 HP pada 7688 rpm dan Torsi mesin maksimum sebesar 0.72 kg.m pada 2965 rpm.

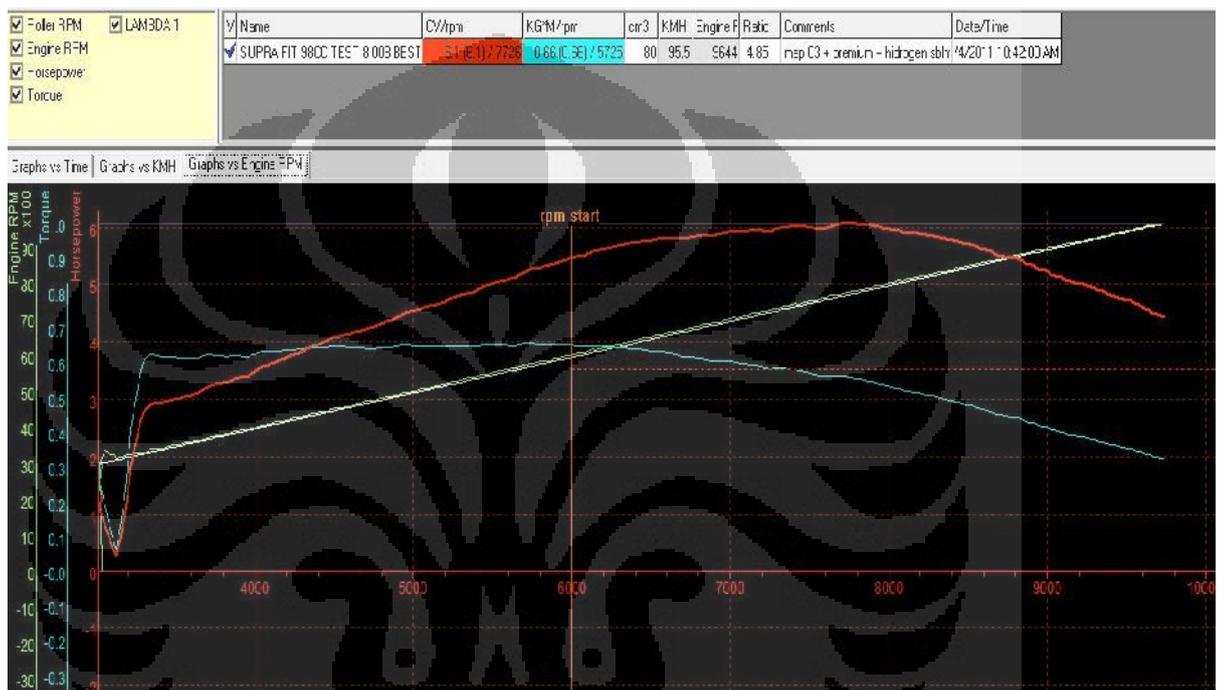
6. Pengapian Map 2 dan dengan gas hydrogen



Gambar 4.26 Grafik BHP dan Torsi Map 2 + Gas Hidrogen Premium

Dari grafik dapat dilihat untuk kondisi mesin dengan Map 2 dan dengan penambahan gas hidrogen memiliki BHP maksimum sebesar 6.2 HP pada 7483 rpm dan Torsi mesin maksimum sebesar 0.72 kg.m pada 2938 rpm.

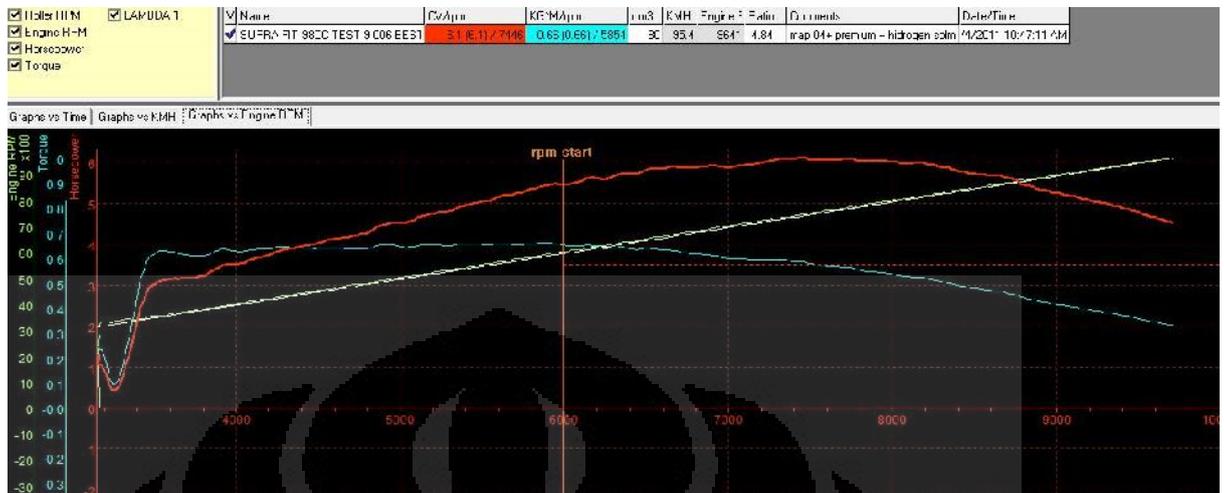
7. Pengapian Map 3 dan dengan gas hidrogen



Gambar 4.27 Grafik BHP dan Torsi Map 3 + Gas Hidrogen Premium

Dari grafik dapat dilihat untuk kondisi mesin dengan Map 3 dan dengan penambahan gas hidrogen memiliki BHP maksimum sebesar 6.1 HP pada 7726 rpm dan Torsi mesin maksimum sebesar 0.66 kg.m pada 5725 rpm.

8. Pengapian Map 4 dan dengan gas hydrogen

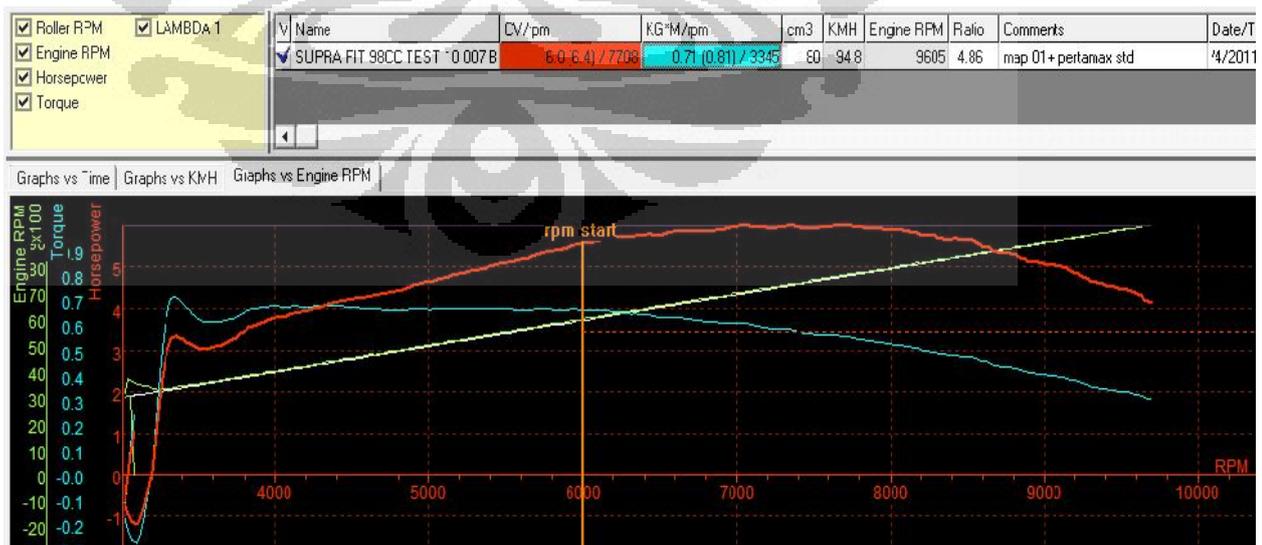


Gambar 4.28 Grafik BHP dan Torsi Map 4 + Gas Hidrogen Premium

Dari grafik dapat dilihat untuk kondisi mesin dengan Map 4 dan dengan penambahan gas hidrogen memiliki BHP maksimum sebesar 6.1 HP pada 7446 rpm dan Torsi mesin maksimum sebesar 0.66 kg.m pada 5854 rpm.

- **Pertamax**

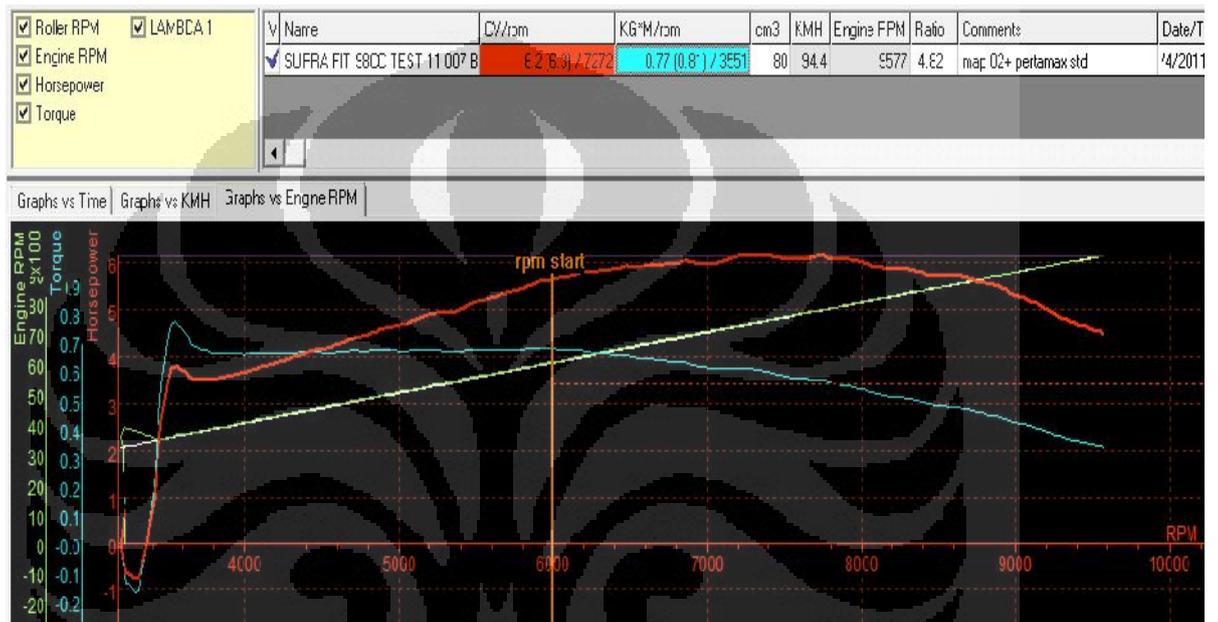
1. Pengapian standar tanpa gas hidrogen



Gambar 4.29 Grafik BHP dan Torsi Pengapian Standar Tanpa Gas Hidrogen Pertamax

Dari grafik dapat dilihat untuk kondisi mesin dengan pengapian standar dan tanpa penambahan gas hidrogen memiliki BHP maksimum sebesar 6 HP pada 7708 rpm dan Torsi mesin maksimum sebesar 0.71 kg.m pada 3345 rpm.

2. Pengapian Map 2 tanpa gas hidrogen



Gambar 4.30 Grafik BHP dan Torsi Map 2 Tanpa Gas Hidrogen Pertamax

Dari grafik dapat dilihat untuk kondisi mesin dengan Map 2 dan tanpa penambahan gas hidrogen memiliki BHP maksimum sebesar 6.2 HP pada 7272 rpm dan Torsi mesin maksimum sebesar 0.77 kg.m pada 3551 rpm.

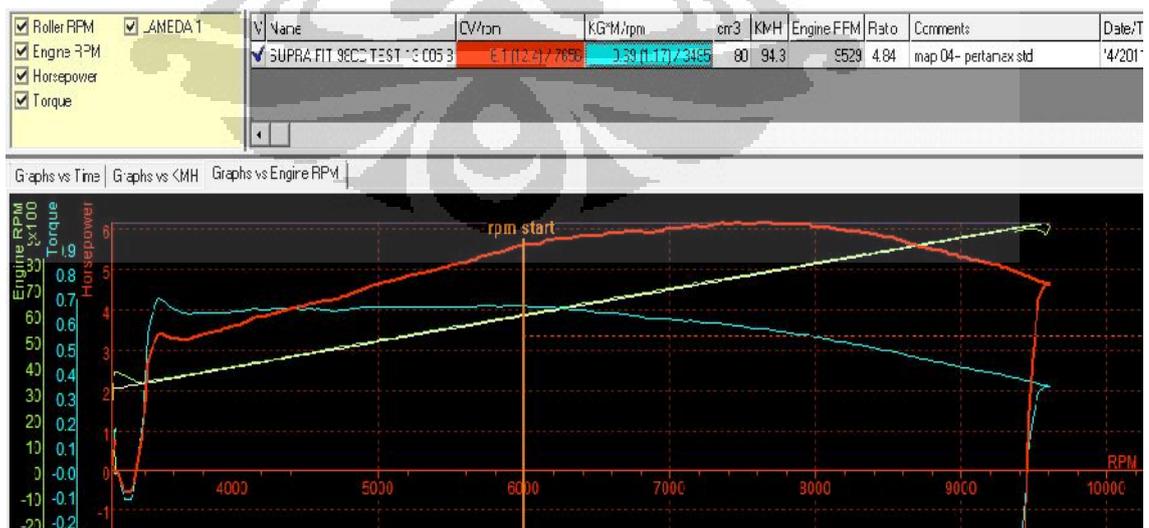
3. Pengapian Map 3 tanpa gas hidrogen



Gambar 4.31 Grafik BHP dan Torsi Map 3 Tanpa Gas Hidrogen Pertamax

Dari grafik dapat dilihat untuk kondisi mesin dengan Map 3 dan tanpa penambahan gas hidrogen memiliki BHP maksimum sebesar 6.2 HP pada 7357 rpm dan Torsi mesin maksimum sebesar 0.74 kg.m pada 3354 rpm.

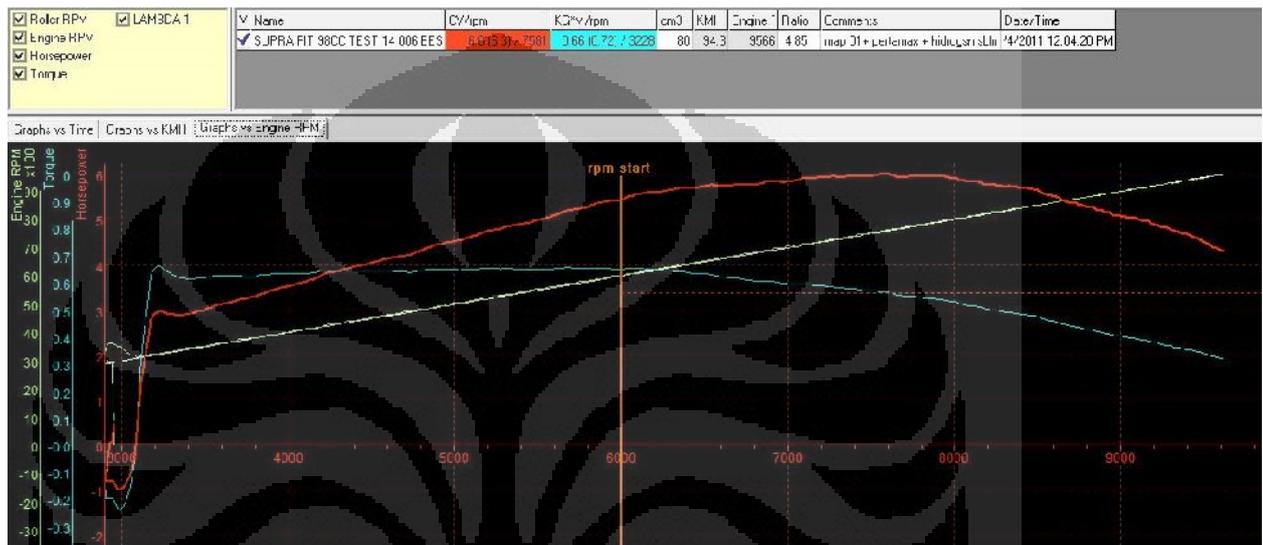
4. Pengapian Map 4 tanpa gas hidrogen



Gambar 4.32 Grafik BHP dan Torsi Map 4 Tanpa Gas Hidrogen Pertamax

Dari grafik dapat dilihat untuk kondisi mesin dengan Map 4 dan tanpa penambahan gas hidrogen memiliki BHP maksimum sebesar 6.1 HP pada 7656 rpm dan Torsi mesin maksimum sebesar 0.69 kg.m pada 3485 rpm.

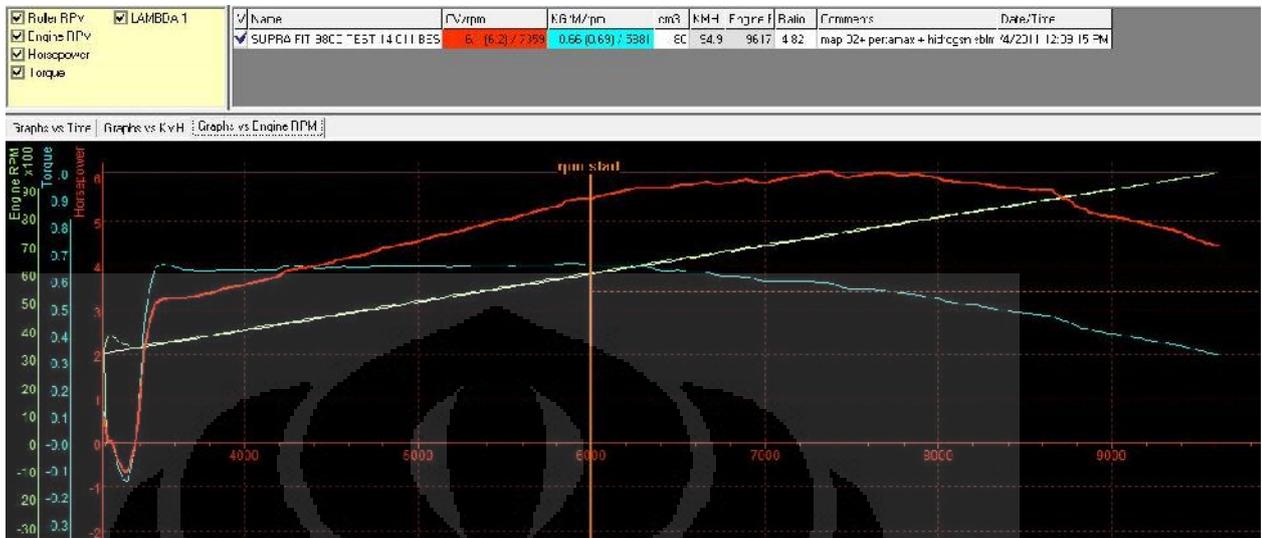
5. Pengapian standar dan dengan gas hidrogen



Gambar 4.33 Grafik BHP dan Torsi Pengapian Standar + Gas Hidrogen Pertamina

Dari grafik dapat dilihat untuk kondisi mesin dengan pengapian standar dan dengan penambahan gas hidrogen memiliki BHP maksimum sebesar 6 HP pada 7581 rpm dan Torsi mesin maksimum sebesar 0.66 kg.m pada 3228 rpm.

6. Pengapian Map 2 dan dengan gas hidrogen



Gambar 4.34 Grafik BHP dan Torsi Map 2 + Gas Hidrogen Pertamax

Dari grafik dapat dilihat untuk kondisi mesin dengan Map 2 dan dengan penambahan gas hidrogen memiliki BHP maksimum sebesar 6.1 HP pada 7359 rpm dan Torsi mesin maksimum sebesar 0.66 kg.m pada 5881 rpm.

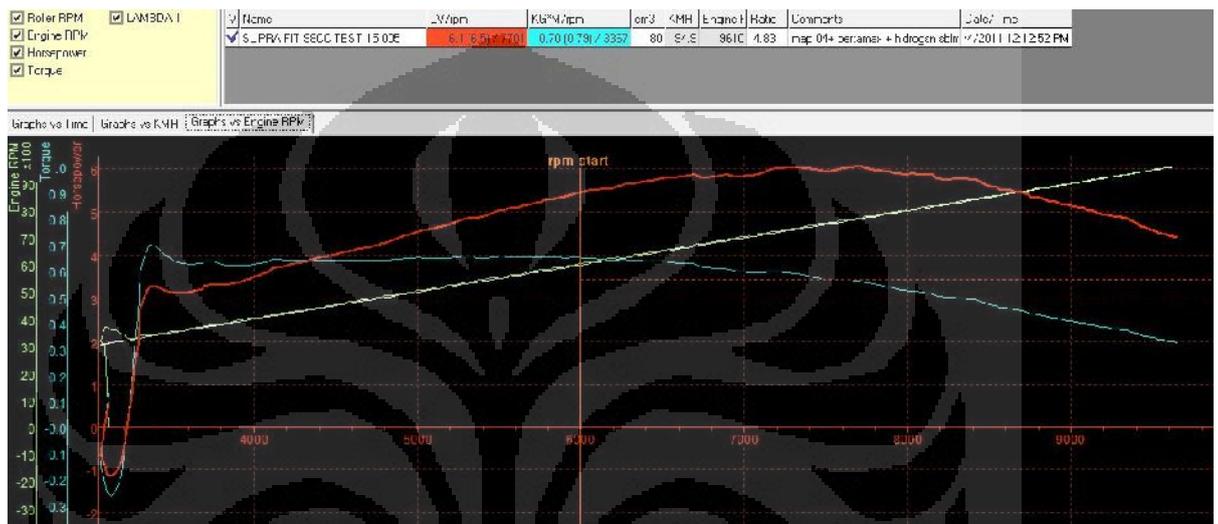
7. Pengapian Map 3 dan dengan gas hidrogen



Gambar 4.35 Grafik BHP dan Torsi Map 3 + Gas Hidrogen Pertamax

Dari grafik dapat dilihat untuk kondisi mesin dengan Map 3 dan dengan penambahan gas hidrogen memiliki BHP maksimum sebesar 6.1 HP pada 7589 rpm dan Torsi mesin maksimum sebesar 0.75 kg.m pada 3359 rpm.

8. Pengapian Map 4 dan dengan gas hidrogen



Gambar 4.36 Grafik BHP dan Torsi Map 4 + Gas Hidrogen Pertamina

Dari grafik dapat dilihat untuk kondisi mesin dengan Map 4 dan dengan penambahan gas hidrogen memiliki BHP maksimum sebesar 6.1 HP pada 7701 rpm dan Torsi mesin maksimum sebesar 0.70 kg.m pada 3362 rpm.

- **Data Perbandingan BHP dan Torsi Untuk Bahan Bakar Pertamina dan Premium**

Tabel 4.8 Perbandingan BHP dan Torsi Bahan Bakar Pertamina dan Premium

Kondisi Mesin	BHP max	Torsi max (kg.m)
Premium Map 1 (standar)	5.9	0.73
Premium Map 2	6.2	0.74
Premium Map 3	6.1	0.72
Premium Map 4	6.1	0.75
Premium Map 1 (standar) + Hidrogen	6	0.72
Premium Map 2 + Hidrogen	6.2	0.72
Premium Map 3 + Hidrogen	6.1	0.66
Premium Map 4 + Hidrogen	6.1	0.66
Pertamax Map 1 (standar)	6	0.71
Pertamax Map 2	6.2	0.77
Pertamax Map 3	6.2	0.74
Pertamax Map 4	6.1	0.69
Pertamax Map 1 (standar) + Hidrogen	6	0.66
Pertamax Map 2 + Hidrogen	6.1	0.66
Pertamax Map 3 + Hidrogen	6.1	0.75
Pertamax Map 4 + Hidrogen	6.1	0.7

Dari tabel di atas, dapat diketahui bahwa performa mesin terbaik adalah pada kondisi Map 2 tanpa penambahan gas hidrogen dengan menggunakan bahan bakar pertamax, yaitu dengan BHP maksimum sebesar 6.2 HP dan Torsi maksimum sebesar 0.77 kg.m . Penambahan gas hidrogen ternyata tidak memperbaiki performa mesin dalam hal daya keluaran dan torsi mesin. Dari tabel juga dapat diketahui bahwa memajukan derajat Pengapian dapat membuat BHP dan Torsi menjadi naik.. Hal tersebut karena memajukan posisi derajat pengapian membuat proses pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar menjadi lebih cepat sehingga bahan bakar dapat terbakar semua tepat saat langkah kompresi terjadi di titik mati atas. Apabila nilai oktan naik maka derajat pengapian idealnya dimajukan beberapa derajat dari posisi awal. Hal itu dikarenakan nilai oktan yang tinggi

pada bahan bakar membuat bahan bakar menjadi lebih lama terbakar untuk itu diperlukan kompresi tinggi dan pembakaran awal pada bahan bakar agar bahan bakar dapat terbakar semua. Namun, terkadang memajukan posisi derajat pengapian tidak berpengaruh dan bisa berpengaruh tidak baik pada saat tertentu. Hal tersebut dikarenakan memajukan posisi derajat pengapian yang terlalu tinggi dapat membuat bahan bakar akan terbakar di awal sebelum titik mati atas untuk itu harus dicari posisi derajat pengapian yang tepat untuk proses pembakaran bahan bakar pada ruang bakar yang sempurna.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

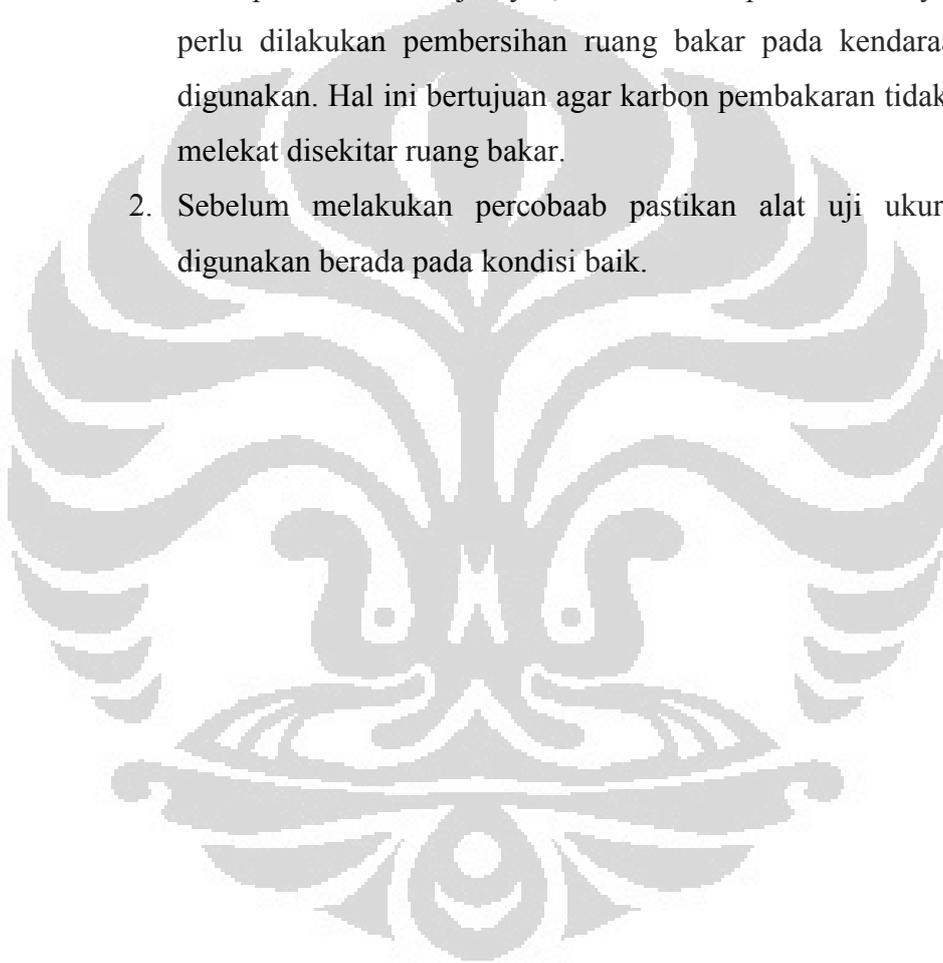
1. Secara keseluruhan penggunaan gas hidrogen hasil elektrolisis air memiliki dampak yang positif terhadap kinerja motor bakar 4 langkah, yaitu pengurangan konsumsi bahan bakar minyak serta perbaikan kualitas emisi gas buang kendaraan.
2. Rata – rata laju produksi gas hidrogen yang dihasilkan oleh reaktor elektrolisis adalah sebesar 92.33 cc/menit.
3. Pengurangan konsumsi bahan bakar minyak maksimum terjadi pada kondisi map 4 timing pengapian maju 30 dan dengan penambahan gas hidrogen dengan penggunaan bahan bakar pertamax. Efisiensi penghematan pada kondisi ini adalah sebesar 15.97 %.
4. Kualitas emisi gas buang menjadi lebih baik setelah ditambahkan gas hidrogen di mana kadar CO, HC, serta O₂ menjadi turun, sedangkan kadar CO₂ meningkat. Untuk penurunan maksimum kadar gas CO terjadi pada kondisi pengapian standar dan dengan ditambah gas hidrogen dengan penggunaan bahan bakar premium. Untuk penurunan maksimum kadar gas HC terjadi pada kondisi pengapian standar dan dengan ditambahkan gas hidrogen dengan penggunaan bahan bakar premium. Untuk penurunan maksimum kadar gas O₂ terjadi pada kondisi pengapian standar dan dengan ditambahkan gas hidrogen dengan penggunaan bahan bakar premium. Sedangkan untuk peningkatan maksimum kadar CO₂ terjadi pada kondisi pengapian standar dan dengan penambahan gas hidrogen dengan penggunaan bahan bakar premium.
5. Penambahan gas hidrogen tidak memberikan dampak terhadap performa motor bakar. Hal itu terbukti dengan BHP maksimum dari motor bakar adalah sebesar 6.2 HP dan torsi maksimum sebesar 0.77 kg.m pada kondisi Map 2 tanpa penambahan gas hidrogen dengan penggunaan bahan bakar pertamax. Hal tersebut

menunjukkan tidak terdapat peningkatan performa mesin dengan penambahan gas hidrogen.

6. Apabila dibandingkan dengan penambahan gas hidrogen pada air filter sebelum karburator, penambahan gas hidrogen pada intake manifold setelah karburator memiliki dampak yang lebih baik.

5.2 Saran

1. Pada penelitian selanjutnya , untuk mendapatkan hasil yang baik perlu dilakukan pembersihan ruang bakar pada kendaraan yang digunakan. Hal ini bertujuan agar karbon pembakaran tidak banyak melekat disekitar ruang bakar.
2. Sebelum melakukan percobaan pastikan alat uji ukur yang digunakan berada pada kondisi baik.



DAFTAR PUSTAKA

- Aji, Rioko. *Pengaruh Penambahan Gas Elektrolisa Air Terhadap Konsumsi Bbm Pada Motor Bakar 4 Langkah 80 cc Dengan Posisi Injeksi Setelah Karburator*. Skripsi Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2007/2008, hal/ 6-23.
- Lukman, Ahmad Nizar. *Elektrolisa Air Untuk Mendapatkan Gas Hidrogen Dan Pengaruhnya Terhadap Konsentrasi Kalim Hidroksida*. Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2008, hal 1-3 dan 6-26.
- Nurdin, Ihwan. *Aplikasi Penambahan Gas Hasil Elektrolisa Air Pada Motor Bakar 4 Langkah Disertai Pengecilan Pilot Jet Untuk Mengurangi Konsumsi Bahan Bakar Premium* . Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2009/2010
- 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
- Randyta, Dimas. *Aplikasi Penambahan Gas Hasil Elektrolisa Air Pada Motor Bakar 4 Langkah Disertai Pengecilan Pilot Jet Untuk Mengurangi Konsumsi Bahan Bakar Pertamina* . Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2009/2010
- 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 H2 (cc/menit)	60	80	90	110	110	100
Laju Produksi H2 (cc/menit)	70	90	90	110	110	100
Laju Produksi H2 (cc/menit)	60	80	110	110	100	100
Laju Produksi H2 (cc/menit)	70	80	100	100	110	100
Laju Produksi H2 (cc/menit)	60	80	80	100	100	110

Lampiran 2. Data konsumsi bahan bakar untuk berbagai kondisi

1. Pengapian standar tanpa penambahan gas hidrogen bahan bakar premium

	30 km/jam (ml)	40 km/jam (ml)	50 km/jam (ml)
1	8	8	8.25
2	7.5	7.5	8.5
3	7.75	8	8.5
Rata-rata	7.75	7.833333333	8.416666667

2. Pengapian Map 2 tanpa penambahan gas hidrogen bahan bakar premium

	30 km/jam (ml)	40 km/jam (ml)	50 km/jam (ml)
1	8	8	7.5
2	8.5	8	7.5
3	8	7.5	8
Rata-rata	8.166666667	7.833333333	7.666666667

3. Pengapian Map 3 tanpa penambahan gas hidrogen bahan bakar premium

	30 km/jam (ml)	40 km/jam (ml)	50 km/jam (ml)
1	8.5	8	7.5
2	8	8	7.5
3	8.5	8.5	7.5
Rata-rata	8.333333333	8.166666667	7.5

4. Pengapian Map 4 tanpa penambahan gas hidrogen bahan bakar premium

	30 km/jam (ml)	40 km/jam (ml)	50 km/jam (ml)
1	8.5	8.5	7.5
2	8	8	7.5
3	8	7.5	7
Rata-rata	8.166666667	8	7.333333333

5. Pengapian standar dengan penambahan gas hidrogen bahan bakar premium

	30 km/jam (ml)	40 km/jam (ml)	50 km/jam (ml)
1	6.75	7.5	7
2	7	7.5	7.25
3	7	7.5	7
Rata-rata	6.916666667	7.5	7.083333333

6. Pengapian Map 2 dengan penambahan gas hidrogen bahan bakar premium

	30 km/jam (ml)	40 km/jam (ml)	50 km/jam (ml)
1	7	6.5	7
2	7	7	7
3	7	7	6.5
Rata-rata	7	6.833333333	6.833333333

7. Pengapian Map 3 dengan penambahan gas hidrogen bahan bakar premium

	30 km/jam (ml)	40 km/jam (ml)	50 km/jam (ml)
1	6.5	7	6.5
2	7	6.5	6.5
3	7	7	6.5
Rata-rata	6.833333333	6.833333333	6.5

8. Pengapian Map 4 dengan penambahan gas hidrogen bahan bakar premium

	30 km/jam (ml)	40 km/jam (ml)	50 km/jam (ml)
1	7	7	7
2	7	7	7
3	6.5	7	6.5
Rata-rata	6.833333333	7	6.833333333

9. Pengapian standar tanpa penambahan gas hidrogen bahan bakar pertamax

	30 km/jam (ml)	40 km/jam (ml)	50 km/jam (ml)
1	7.5	7.5	7.5
2	7	7.5	7.5
3	7	7.5	7.5
Rata-rata	7.166666667	7.5	7.5

10. Pengapian Map 2 tanpa penambahan gas hidrogen bahan bakar pertamax

	30 km/jam (ml)	40 km/jam (ml)	50 km/jam (ml)
1	7.5	7	7.5
2	7.5	7.5	7
3	7.5	7.5	7.5
Rata-rata	7.5	7.333333333	7.333333333

11. Pengapian Map 3 tanpa penambahan gas hidrogen bahan bakar pertamax

	30 km/jam (ml)	40 km/jam (ml)	50 km/jam (ml)
1	8	7.5	7.5
2	8	8	7.5
3	8	8	7.5
Rata-rata	8	7.833333333	7.5

12. Pengapian Map 4 tanpa penambahan gas hidrogen bahan bakar pertamax

	30 km/jam (ml)	40 km/jam (ml)	50 km/jam (ml)
1	8	7.5	7
2	7.5	8	7
3	8	8	7
Rata-rata	7.833333333	7.833333333	7

13. Pengapian standar dengan penambahan gas hidrogen bahan bakar pertamax

	30 km/jam (ml)	40 km/jam (ml)	50 km/jam (ml)
1	6.5	7.5	7
2	6.75	7.5	6.5
3	6.5	7.5	7.5
Rata-rata	6.583333333	7.5	7

14. Pengapian Map 2 dengan penambahan gas hidrogen bahan bakar pertamax

	30 km/jam (ml)	40 km/jam (ml)	50 km/jam (ml)
1	7	6.5	6.5
2	7.5	7	6.5
3	7	7	6.5
Rata-rata	7.166666667	6.833333333	6.833333333

15. Pengapian Map 3 dengan penambahan gas hidrogen bahan bakar pertamax

	30 km/jam (ml)	40 km/jam (ml)	50 km/jam (ml)
1	6.5	7	6.5
2	6.5	7	7
3	6.5	7	6.5
Rata-rata	6.5	7	7

16. Pengapian Map 4 dengan penambahan gas hidrogen bahan bakar pertamax

	30 km/jam (ml)	40 km/jam (ml)	50 km/jam (ml)
1	6.5	6.5	6.5
2	7	7	6.5
3	6.5	7	7
Rata-rata	6.666666667	6.833333333	6.666666667

Lampiran 3. Data emisi gas buang untuk berbagai kondisi

1. Pengapian standar tanpa penambahan gas hidrogen bahan bakar premium

RPM	2500	3000	3500	4000	4500	5000
% vol CO	1.11	1.14	1.18	1.67	2.29	3.14
% vol CO ₂	2	2.9	2.7	2.8	2.7	1.5
ppm vol HC	605	425	247	188	222	329
% vol O ₂	0.38	0.36	0.36	0.38	0.4	0.4
ppm vol NO _x	24	24	24	29	34	34
λ (lamda)	0.884	0.882	0.884	0.889	0.821	0.716

2. Pengapian Map 2 tanpa penambahan gas hidrogen bahan bakar premium

RPM	2500	3000	3500	4000	4500	5000
% vol CO	2.4	4.41	3.59	4.02	4.52	4.46
% vol CO ₂	2.2	2.1	2.1	2.3	2.5	2.4
ppm vol HC	575	529	491	470	453	471
% vol O ₂	2.73	2.77	2.39	2.84	2.54	2.81
ppm vol NO _x	24	39	78	24	24	24
λ (lamda)	0.976	0.944	0.941	0.913	0.905	0.866

3. Pengapian Map 3 tanpa penambahan gas hidrogen bahan bakar premium

RPM	2500	3000	3500	4000	4500	5000
% vol CO	3.03	3.6	3.38	3.24	3.97	3.4
% vol CO ₂	2.3	2.2	2.2	2.8	2.9	3.1
ppm vol HC	476	469	473	312	366	297
% vol O ₂	2.63	2.79	3.13	3.34	3.36	3.61
ppm vol NO _x	14	14	14	24	24	24
λ (lamda)	0.977	0.972	0.944	1.071	1.065	1.098

4. Pengapian Map 4 tanpa penambahan gas hidrogen bahan bakar premium

RPM	2500	3000	3500	4000	4500	5000
% vol CO	2.95	2.84	3.27	3.68	3.7	4.12
% vol CO ₂	2.2	2.2	2.3	2.6	2.6	2.5
ppm vol HC	514	490	443	422	420	420
% vol O ₂	3.46	3.61	3.59	3.82	3.59	3.8
ppm vol NO _x	14	14	14	24	24	24
λ (lamda)	1.15	1.088	1.044	1.121	1.1	1.034

5. Pengapian standar dengan penambahan gas hidrogen bahan bakar premium

RPM	2500	3000	3500	4000	4500	5000
% vol CO	2.3	2.51	2.64	2.75	2.86	3.07
% vol CO ₂	2.1	2.7	3	3.2	3.1	3
ppm vol HC	267	253	247	235	227	213
% vol O ₂	0.31	0.36	0.38	0.34	0.34	0.33
ppm vol NO _x	24	19	19	19	19	39
λ (lamda)	0.815	0.901	0.916	0.861	0.845	0.808

6. Pengapian Map 2 dengan penambahan gas hidrogen bahan bakar premium

RPM	2500	3000	3500	4000	4500	5000
% vol CO	2.52	2.84	3.07	3.19	3.34	3.46
% vol CO ₂	2.2	2.3	2.3	2.5	2.7	3.1
ppm vol HC	325	317	295	281	263	252
% vol O ₂	1.28	1.28	1.55	1.39	1.45	1.37
ppm vol NO _x	29	34	34	29	29	24
λ (lamda)	0.824	0.856	0.827	0.812	0.826	0.752

7. Pengapian Map 3 dengan penambahan gas hidrogen bahan bakar premium

RPM	2500	3000	3500	4000	4500	5000
% vol CO	2.62	2.85	3.21	3.37	3.34	3.23
% vol CO ₂	2.4	2.8	2.5	2.7	2.8	3
ppm vol HC	261	254	242	236	245	231
% vol O ₂	1.47	1.53	1.34	1.16	1.34	1.45
ppm vol NO _x	29	28	29	34	34	34
λ (lamda)	0.82	0.804	0.785	0.791	0.764	0.765

8. Pengapian Map 4 dengan penambahan gas hidrogen bahan bakar premium

RPM	2500	3000	3500	4000	4500	5000
% vol CO	2.44	3.16	3.23	3.54	3.75	3.36
% vol CO ₂	2.3	2.2	2.3	2.4	2.7	2.8
ppm vol HC	352	345	323	327	319	313
% vol O ₂	1.28	1.3	1.28	1.41	1.18	1.64
ppm vol NO _x	43	68	34	29	14	34
λ (lamda)	0.823	0.806	0.8	0.792	0.769	0.802

9. Pengapian standar tanpa penambahan gas hidrogen bahan bakar pertamax

RPM	2500	3000	3500	4000	4500	5000
% vol CO	0.49	0.54	0.55	1.64	2.12	2.65
% vol CO ₂	2.4	2.9	3.3	3.2	3.2	2.9
ppm vol HC	574	385	300	262	251	246
% vol O ₂	0.19	0.21	0.23	0.36	0.38	0.36
ppm vol NO _x	29	29	29	24	29	19
λ (lamda)	0.87	0.923	0.926	0.884	0.841	0.795

10. Pengapian Map 2 tanpa penambahan gas hidrogen bahan bakar pertamax

RPM	2500	3000	3500	4000	4500	5000
% vol CO	3.02	3.04	3.48	4.52	4.94	5.17
% vol CO ₂	2	2.1	2.1	2.4	2.5	2.7
ppm vol HC	632	561	558	559	517	435
% vol O ₂	1.91	1.97	1.83	1.49	1.64	1.47
ppm vol NO _x	38	34	24	29	24	28
λ (lamda)	0.864	0.86	0.823	0.799	0.788	0.783

11. Pengapian Map 3 tanpa penambahan gas hidrogen bahan bakar pertamax

RPM	2500	3000	3500	4000	4500	5000
% vol CO	3.4	3.41	3.75	4.7	5.22	5.39
% vol CO ₂	2.1	2.2	2.1	2.3	2.7	2.8
ppm vol HC	645	619	606	583	524	443
% vol O ₂	1.49	1.85	1.72	1.68	1.58	1.81
ppm vol NO _x	19	19	19	21	24	29
λ (lamda)	0.842	0.834	0.85	0.804	0.762	0.815

12. Pengapian Map 4 tanpa penambahan gas hidrogen bahan bakar pertamax

RPM	2500	3000	3500	4000	4500	5000
% vol CO	3.23	3.31	3.23	3.85	4.12	3.87
% vol CO ₂	2	2	2.1	2.4	2.5	2.5
ppm vol HC	403	390	450	480	499	384
% vol O ₂	2.08	2.18	2.16	1.74	1.87	1.83
ppm vol NO _x	24	24	29	34	48	36
λ (lamda)	0.924	0.938	0.88	0.837	0.857	0.865

13. Pengapian standar dengan penambahan gas hidrogen bahan bakar pertamax

RPM	2500	3000	3500	4000	4500	5000
% vol CO	2.74	2.92	3.06	3.33	3.16	2.95
% vol CO ₂	2.7	2.6	3	3.2	3.4	3.2
ppm vol HC	273	241	257	243	235	227
% vol O ₂	0.34	0.31	0.36	0.31	0.4	0.38
ppm vol NO _x	9	9	14	14	14	14
λ (lamda)	0.898	0.931	0.938	0.877	0.843	0.814

14. Pengapian Map 2 dengan penambahan gas hidrogen bahan bakar pertamax

RPM	2500	3000	3500	4000	4500	5000
% vol CO	2.52	2.73	3.04	3.26	3.43	3.57
% vol CO ₂	2.5	2.3	2.4	2.5	2.8	2.9
ppm vol HC	361	308	327	294	287	283
% vol O ₂	1.36	1.38	1.47	1.28	1.3	1.27
ppm vol NO _x	24	24	68	36	24	24
λ (lamda)	0.862	0.824	0.803	0.785	0.757	0.775

15. Pengapian Map 3 dengan penambahan gas hidrogen bahan bakar pertamax

RPM	2500	3000	3500	4000	4500	5000
% vol CO	2.61	2.89	3.22	3.24	3.48	3.63
% vol CO ₂	2.5	2.6	2.3	2.5	2.8	2.9
ppm vol HC	357	336	327	298	295	293
% vol O ₂	1.3	1.25	1.22	1.35	1.47	1.3
ppm vol NO _x	24	29	68	24	24	24
λ (lamda)	0.844	0.807	0.787	0.756	0.749	0.748

16. Pengapian Map 4 dengan penambahan gas hidrogen bahan bakar pertamax

RPM	2500	3000	3500	4000	4500	5000
% vol CO	2.56	2.89	2.71	3.12	3.26	2.95
% vol CO ₂	2.6	2.7	3	3	3.4	2.4
ppm vol HC	316	326	283	332	286	300
% vol O ₂	1.32	1.32	1.45	1.38	1.32	1.44
ppm vol NO _x	38	24	24	24	24	24
λ (lamda)	0.873	0.911	0.96	0.844	0.452	0.768