



TUGAS AKHIR - TM091585

**APLIKASI PENGGUNAAN GENERATOR GAS  
HHO TIPE *DRY CELL* MENGGUNAKAN PLAT  
TITANIUM TERHADAP PERFORMA DAN EMISI  
GAS BUANG SEPEDA MOTOR HONDA  
MEGAPRO 150 CC**

DHARU SETO SUHANGGORO  
NRP 2114105053

Dosen Pembimbing  
Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT

JURUSAN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016



FINAL PROJECT - TM091585

**APPLICATION OF *DRY CELL* TYPE HHO GAS  
GENERATOR USING TITANIUM PLATE ON  
MEGAPRO 150 CC SPARK IGNATION ENGINE  
PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSION**

**DHARU SETO SUHANGGORO  
NRP 2114105053**

**Supervisor  
Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Engineering  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2016**



## LEMBAR PENGESAHAN

### APLIKASI PENGGUNAAN GENERATOR GAS HHO TIPE *DRY CELL* MENGGUNAKAN PLAT TITANIUM TERHADAP PERFORMA DAN EMISI GAS BUANG SEPEDA MOTOR HONDA MEGAPRO 150 CC

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Konversi Energi  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**DHARU SETO SUHANGGORO**

NRP. 2114105053

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT ..... (Pembimbing)  
NIP. 197301161997021001
2. Dr. Ir. Atok Setiawan, M.Eng.Sc. ..... (Penguji I)  
NIP. 196604021989031003
3. Bambang Arip D, ST., M.Eng., Ph.D. ..... (Penguji II)  
NIP. 1978040120022121001
4. Ary Bachtiar K. P, ST., MT., Ph.D. ..... (Penguji III)  
NIP. 197105241997021001

SURABAYA

Juli 2016

# **APLIKASI PENGGUNAAN GENERATOR GAS HHO TIPE DRY CELL MENGGUNAKAN PLAT TITANIUM TERHADAP PERFORMA DAN EMISI GAS BUANG ENGINE SEPEDA MOTOR HONDA MEGAPRO 150 CC**

**Nama Mahasiswa** : Dharu Seto Suhanggoro  
**NRP** : 2114105053  
**Jurusan** : Teknik Mesin FTI – ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT

## **Abstrak**

*Generator gas HHO merupakan alat elektrolisis air menjadi gas HHO, yang terdiri dari gas  $H_2$  dan  $O_2$ , aplikasi gas HHO pada kendaraan mampu meningkatkan performa mesin, menghemat konsumsi bahan bakar, menstabilkan temperatur mesin, dan mengurangi emisi gas buang berbahaya. Sehingga sasaran penelitian itu adalah untuk mengaplikasikan gas HHO ke sepeda motor Megapro 150 cc, untuk mendapatkan kembali unjuk kerja dan mengurangi emisi gas buang yang paling optimal.*

*Pada penelitian ini, generator gas HHO yang digunakan menggunakan tipe dry cell dengan elektroda titanium berbentuk persegi dengan ukuran 80 mm x 80 mm, tebal 1,5 mm, 1 cell 15 plat yang terdiri anoda dan katoda. Aplikasi pada sepeda motor menggunakan mixer yang berbentuk venturi yang dipasang pada saluran intake manifold mesin. Pengujian dilakukan menggunakan Waterbrake Dynamometer pada bukaan katup kupu-kupu penuh (Fully Open Throttle) untuk memperoleh daya maksimum pada tiap putaran mesin. Kemudian dilakukan pengujian unjuk kerja dan emisi gas buang dilakukan dengan putaran berubah mulai dari 2000 rpm sampai dengan 8000 rpm interval 1000 rpm. Parameter-Parameter yang diukur berupa: putaran mesin, torsi, waktu konsumsi bahan bakar, temperatur mesin, temperatur exhaust manifold, temperatur oli, temperatur gas HHO dan emisi gas buang CO,  $CO_2$ , HC. Sedangkan parameter yang dihitung berupa: daya, bmep (tekanan efektif rata-rata), efisiensi thermal, sfc (konsumsi bahan bakar spesifik), dan nilai AFR. Pengujian unjuk kerja dan emisi gas buang juga dilakukan pengaturan waktu pengapian 7°, 6°, 5° BTDC.*

*Hasil yang didapatkan setelah pengujian pada kondisi standard sebagai kelompok control dan dengan penambahan gas HHO baik pada pengapian standard dan dimundurkan didapatkan hasil berupa unjuk*

*kerja: Torsi menunjukkan peningkatan hasil pada retard 7° BTDC sebesar 14,023 N.m dengan kenaikan sebesar 15,11% pada putaran engine 5000 rpm terhadap acuan kelompok kontrol, BHP menunjukkan peningkatan hasil pada retard 5° BTDC sebesar 5375,8483 Watt dengan kenaikan 12,52% pada putaran 6000 rpm terhadap acuan kelompok kontrol, Bmep menunjukkan peningkatan hasil pada retard 7° BTDC sebesar 1165764,6 Pa dengan kenaikan 15,11% pada putaran 5000 rpm terhadap acuan kelompok control, SFC mengalami penurunan rata-rata sebesar 26,10% terhadap acuan kelompok control (premium), efisiensi thermal mengalami kenaikan 83,7% terhadap acuan kelompok control (Premium) dan juga emisi gas buang CO mengalami penurunan sebesar 34,06%.*

***Kata kunci : Gas HHO, Premium, Performa Mesin, Emisi Gas Buang.***

# APPLICATION OF DRY CELL HHO GAS GENERATOR USING TITANIUM PLATE ON MEGAPRO 150 CC SPARK IGNITION ENGINE PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS

**Name** : Dharu Seto Suhanggoro  
**NRP** : 2114105053  
**Department** : Mechanical Engineering  
**Advisor** : Dr. Bambang Sudarmanta, S.T., MT

## Abstrack

*Generator gas HHO is a electrolysis of water into gas HHO, consisting of gas  $H_2$  and  $O_2$ , Application gas HHO on a vachile able to raise its machine performance, save consumption of fuel, sabilize temperature machine, and reduce gas emissions dengerous. So researchobjective is to apply gas to motorcycle megapro 150 cc, to regain offered work and reduce gas emissions the optimal.*

*In this study, generator gas HHO used using type dry cell With titanium shaped square with size 80 mm x 80 mm, thick 1,5 mm, 1 cell 15 plate that consisting anode and cathode. Application on a motorcycle using a mixer shaped venturi mounted on the intake manifold machine. Testing carried out using waterbrake a dynamometer at the openings valve full (fully open trottle) to obtain maximum resources on each round machine. The were done testing of work and gas emissions done with a round turns starting from 2000 up to 8000 rpm intervals 1000 rpm. Parameters measured constitute : round machine, torque, time the consumption of fuel, engine temperatures, temperature exaust manifold, temperature oil, temperature gas HHO and exhaust gas emissions  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $HC$ . While parameter calculated constitute: power, bmep (pressure effective average), thermal efficiency, sfc (fuel consumption spesific), and value AFR. Testing offered work and gas emissions also by controlling the ignition timing  $7^\circ, 6^\circ, 5^\circ$  BTDC.*

*The results obtained after testing on condition standard as a group of control and gas with additional gas HHO good on ignition standard and the result is delayed or result of were work: torque shown increase outcomes retard  $7^\circ$  BTDC worth 14,023 N.m with increase of 15,11% in the 5000 rpm to reference the control group, bhp shown increase outcomes retard  $5^\circ$  BTDC of 5375,8483 watts with a rise in 12,52% in the 6000 rpm to reference the control group, bmep shown*

*increase outcomes retard 7° BTDC of 1165764,6 Pa with a rise in 15,11% in the 5000 rpm of reference group control, sfc decline average of 26,10% of reference group control (premium), efficiency thermal increased 83,7% of reference group control (premium) and also gas emissions CO decreased by 34,06%.*

***Keywords: HHO Gas, Gasoline, Engine Performance, Exhaust Emissions***

## DAFTAR ISI

Halaman	
Halaman Judul .....	i
Halaman Pengesahan .....	iii
Abstrak .....	iv
Abstract .....	vi
Kata Pengantar .....	viii
Daftar Isi .....	x
Daftar Gambar .....	xv
Daftar Tabel.....	xx
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Penelitian .....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Siklus Motor Otto.....	7
2.1.1 Motor Bensin 4 Langkah.....	7
2.1.2 Proses Pembakaran Motor Bensin 4 Langkah...	9
2.1.1 Valve Timing 4 Langkah.....	10

2.2 Karburator .....	11
2.2.1 Prinsip Kerja Karburator .....	11
2.2.2 Jenis-Jenis Karburator .....	12
2.2.3 Peralatan-Peralatan Didalam Karburator.....	12
2.2.4 Perhitungan Didalam Karburator .....	14
2.3 Teknologi Pemasukan Gas HHO Pada Mesin.....	16
2.3.1 Pemasukan Gas Melalui <i>Intake Manifold</i> .....	16
2.3.2 Pemasukan Gas Melalui <i>Air Filter</i> .....	17
2.4 Pengaruh Penambahan Gas HHO pada <i>Engine</i> .....	18
2.5 Bahan Bakar .....	19
2.5.1 Bahan Bakar Bensin .....	19
2.5.2 Gas HHO (Hidrogen Hidrogen Oksigen).....	22
2.6 Pemilihan Elektroda Titanium.....	24
2.7 Teori Pembakaran.....	25
2.7.1 Perhitungan Stoikiometri Kebutuhan Udara .....	26
2.7.1 Pembakaran Non-Stoikiometri .....	27
2.8 Parameter-Parameter Unjuk Kerja Mesin Bensin .....	28
2.8.1 Torsi .....	28
2.8.2 Daya (BHP) .....	29
2.8.3 Tekanan Efektif Rata-Rata .....	29
2.8.4 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik.....	30
2.8.5 Efisiensi Thermal .....	31
2.9 Polusi Udara .....	32
2.9.1 <i>unburned</i> Hidrokarbon .....	33
2.9.2 Karbon Monoksida (CO).....	34

2.9.3 NO <sub>x</sub> .....	34
2.10 Penelitian Terdahulu.....	35
BAB 3 METODE PENELITIAN .....	41
3.1 Prosedur Penelitian.....	41
3.2 Pengujian Unjuk Kerja <i>Engine</i> .....	41
3.2.1 Pemasangan Instalasi Generator HHO .....	42
3.2.2 Persiapan Pengujian Pada <i>Engine</i> .....	42
3.2.3 Pengujian <i>Engine</i> Pada Kondisi Standar .....	42
3.2.4 Pengujian <i>Engine</i> Pada Pengapian Standar .....	43
3.2.5 Pengujian <i>Engine</i> Pada Pengaturan Pengapian .	45
3.2.6 Akhir Pengujian.....	46
3.3 Spesifikasi Alat Uji.....	46
3.3.1 <i>Engine</i> .....	47
3.3.2 Alat Uji .....	48
3.4 Instalasi Pemasukan Gas HHO.....	51
3.5 <i>Flowchart</i> Penelitian .....	52
3.6 Parameter Yang Diukur .....	53
BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN .....	54
4.1 Hasil Penelitian.....	54
4.2 Data Hasil Unjuk Kerja .....	54
4.3 Contoh Perhitungan.....	54
4.3.1 Perhitungan Torsi .....	55
4.3.2 Perhitungan Daya .....	55

4.3.3 Perhitungan Tekanan Efektif Rata-Rata.....	56
4.3.4 Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar spesifik ...	56
4.3.5 Perhitungan <i>Efisiensi Thermal</i> .....	57
4.3.6 Perhitungan <i>Air Fuel Ratio</i> .....	58
4.4 Analisa Unjuk Kerja <i>Engine</i> .....	58
4.4.1 Analisa Torsi .....	58
4.4.2 Analisa Daya Efektif .....	60
4.4.3 Analisa Bmep .....	62
4.4.4 Analisa Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (sfc) .	63
4.4.5 Analisa Efisiensi Thermal .....	65
4.4.6 Analisa <i>Air Fuel Ratio</i> (AFR) .....	66
4.5 Analisa Emisi Gas Buang .....	68
4.5.1 Analisa Gas Karbon Monoksida (CO) .....	68
4.5.2 Analisa Gas Buang Hidro Karbon (HC).....	69
4.5 Analisa Temperatur .....	70
4.6.1 Temperatur <i>Engine</i> .....	70
4.6.2 Temperatur <i>Exhaust</i> .....	72
4.6.3 Temperatur Oli .....	74
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	75
5.1 Kesimpulan.....	75
5.1 Saran.....	78
DAFTAR PUSTAKA.....	79
LAMPIRAN .....	81

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Perbandingan Nilai Properti Termokimia .....	23
<b>Tabel 2.2</b> Karakteristik Panduan Titanium .....	25
<b>Tabel 3.1</b> Parameter Yang Diukur .....	53

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Cara Kerja Motor Bensin 4 Langkah .....	8
<b>Gambar 2.2</b> Grafik P- $\theta$ Aktual Motor Bensin .....	9
<b>Gambar 2.3</b> Valve Timing Diagram Mesin 4 Langkah .....	11
<b>Gambar 2.4</b> Bagian-Bagian Penting Karburator .....	12
<b>Gambar 2.5</b> Penampang Venturi Karburator .....	15
<b>Gambar 2.6</b> Proses Pemasukan Gas HHO Pada <i>Engine</i> .....	16
<b>Gambar 2.7</b> Proses Pemasukan Gas HHO Air <i>Filter</i> .....	17
<b>Gambar 2.8</b> Proses Pemecahan Molekul Air. ....	23
<b>Gambar 2.9</b> Mekanisme Terbentuknya Polutan.....	35
<b>Gambar 2.10</b> Grafik Power dan Torsi Fungsi Putaran .....	36
<b>Gambar 2.11</b> Bmep dan Effisiensi Fungsi Putaran .....	36
<b>Gambar 2.12</b> Grafik BSFC Fungsi Putaran .....	37
<b>Gambar 2.13</b> Grafik Effisiensi Thermal .....	38
<b>Gambar 2.14</b> Grafik BSFC Fungsi Putaran .....	38
<b>Gambar 2.15</b> Grafik Emisi Gas Buang CO.....	38
<b>Gambar 2.16</b> Grafik emisi gas buang HC.....	39
<b>Gambar 2.17</b> Grafik emisi gas buang NO <sub>x</sub> .....	39
<b>Gambar 2.18</b> Grafik (a) torsi vs putran mesin (b) daya vs putaran mesin.....	39
<b>Gambar 2.19</b> Grafik (a) BSFC vs putaran mesin (b) Efisiensi thermal vs putaran mesin.....	41
<b>Gambar 2.20</b> Grafik (a) emisi gas buang CO vs putaran (b) NO <sub>x</sub> vs putaran vs BHP.....	41
<b>Gambar 3.1</b> Sepeda motor Honda Megapro 150 cc .....	47
<b>Gambar 3.2</b> <i>Waterbrake Dynamometer</i> .....	48
<b>Gambar 3.3</b> <i>Exhaust gas analyzer</i> .....	49
<b>Gambar 3.4</b> Instalasi pemasukan Gas HHO .....	51

<b>Gambar 3.5</b> <i>Flowchart</i> Penelitian .....	52
<b>Gambar 4.1</b> Grafik Torsi fungsi Putaran Mesin.....	59
<b>Gambar 4.2</b> Grafik Daya fungsi Putaran Mesin.....	61
<b>Gambar 4.3</b> Grafik BMEP fungsi Putaran Mesin .....	62
<b>Gambar 4.4</b> Grafik SFC fungsi Putaran Mesin .....	64
<b>Gambar 4.5</b> Grafik Effisiensi Thermal fungsi Putaran Mesin.....	65
<b>Gambar 4.6</b> Grafik AFR fungsi Putaran Mesin .....	67
<b>Gambar 4.7</b> Grafik CO fungsi Putaran Mesin.....	69
<b>Gambar 4.8</b> Grafik HC fungsi Putaran Mesin.....	70
<b>Gambar 4.9</b> Grafik Temperatur <i>Engine</i> fungsi Putaran Mesin .....	71
<b>Gambar 4.10</b> Grafik Temperatur <i>Exhaust</i> fungsi Putaran Mesin .....	73
<b>Gambar 4.11</b> Grafik Temperatur Oli fungsi Putaran Mesin .....	74

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Dengan meningkatnya inovasi teknologi transportasi yang demikian pesat, maka kebutuhan akan bahan bakar minyak dan gas menjadi suatu kebutuhan yang harus dipenuhi oleh pemerintah dalam rangka stabilitas yang berkaitan dengan perekonomian masyarakat. Energi baru dan energy baru terbarukan terus diupayakan oleh Pemerintah guna mengatasi kebutuhan diatas. Sementara itu di Negara kita ketergantungan akan bahan bakar fosil sangatlah tinggi. Khususnya bahan bakar minyak yang semakin meningkat dari tahun ketahun. Hal ini berdasarkan data proyeksi total kebutuhan energy dari tahun 2010 hingga 2030[1]. Sedangkan produksi bahan bakar minyak yang terus merosot setiap tahunnya. Di satu sisi kebutuhan bahan bakar minyak masih menjadi konsumsi terbesar di negara kita terutama untuk penggunaan mesin Diesel dan mesin Otto. Disisi lain, seiring dengan meningkatnya pemakaian minyak bumi pada mesin Otto dan Diesel menyebabkan tingginya emisi polutan yang dihasilkan dari proses pembakaran, seperti karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), oksida nitrogen (NOx), sulfur oksida (SOx), dan timbal (Pb). Kondisi ini akan memicu meningkatkan angka pencemaran lingkungan.

Salah satu alternatif pengganti bahan bakar pada *engine* yang ramah lingkungan mulai dikembangkan, salah satunya adalah gas HHO yang merupakan gas hasil dari elektrolisa air aquades dengan menggunakan arus listrik. Banyak penelitian yang mengembangkan gas HHO dengan berbagai variasi, karena jumlah air yang melimpah dan pembuatannya yang sederhana, meskipun terdapat beberapa kendala yang dialami, yang perlu dikembangkan lebih lanjut.

Gas HHO adalah teknologi untuk menghemat bahan bakar karena berupa elektrolisa dari H<sub>2</sub>O menjadi H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> Yull

Brown adalah seorang berkewarganegaraan Australia yang mematenkan hasil elektrolisa dari air menjadi gas  $H_2$  dan gas  $O_2$  yang dapat menggerakkan mesin kendaraan. Gas HHO atau yang disebut *Brown's Gas* merupakan suatu hasil dari elektrolisis air dengan katalis yang menghasilkan hidrogen dan oksigen murni yang memiliki angka oktan tinggi [2].

Sementara itu prototipe penghasil gas HHO tersebut dinamakan generator gas HHO. Yang diklarifikasikan menjadi dua tipe yaitu: tipe basah (wet cell) dan tipe kering (dry cell). Pada penelitian sebelumnya di laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar Teknik Mesin ITS. Kedua tipe ini terdapat keuntungan diantaranya, tipe wet cell: gas HHO yang dihasilkan lebih banyak, gas yang dihasilkan cenderung stabil dan perawatan lebih murah. Adapun kendala pada tipe wet cell adalah temperatur yang dihasilkan oleh generator HHO tinggi dan bejana yang digunakan cenderung bocor. Sementara itu keuntungan pada tipe dry cell adalah panas yang ditimbulkan relatif kecil dan arus listrik yang dihasilkan relatif kecil. Dan kendala pada tipe dry cell adalah menggunakan elektroda stainless steel 316 L laju produksi gas masih sangat sedikit [3].

Dari beberapa faktor-faktor permasalahan pada penelitian sebelumnya maka penulis akan mencoba menggunakan plat titanium sebagai elektroda dengan menggunakan tipe *dry cell*, menurut Lutjering [4], terdapat beberapa keuntungan diantaranya: memiliki sifat-sifat ketahanan korosi tinggi, ringan, kuat dan rasio kekuatan densitasnya paling tinggi diantara logam lain.

Sedangkan aplikasi pada *engine* penelitian sebelumnya, penelitian yang dilakukan secara eksperimental dengan mengaplikasikan generator HHO pada mesin Honda Karisma 125 cc. Metode pemasukan gas menggunakan mixer yang berbentuk venturi pada saluran *intake manifold* mesin. Dan variasi yang digunakan berupa jumlah plat pada generator gas HHO. Tipe plat yang digunakan SS 304L dan elektrolit KOH 0.7 gram per 1 liter air aquades. Dari hasilnya berupa peningkatan performa dan penurunan emisi gas buang yang berbahaya, karena *properties*

dari memiliki LHV (low heating value) dan *flame speed* yang tinggi dibandingkan bahan bakar premium. Didapatkan generator HHO 3 pasang plat merupakan yang terbaik karena mampu meningkatkan unjuk kerja mesin bensin paling besar. Untuk hasil pengujiannya, pada torsi, daya, dan BMEP mengalami kenaikan hasil sebesar 18,54%, 14,94% dan 14,94%. Pada pengujian selanjutnya BSFC dan efisiensi thermal terjadi peningkatan kualitas rata-rata sebesar 23,63 %. Sedangkan kadar gas buang CO dan HC terjadi penurunan hasil sebesar 17,02 % dan 12,28 % [5].

Sedangkan pada pengujian selanjutnya pada mesin bensin, penelitian yang dilakukan secara eksperimental pengaruh penambahan gas HHO terhadap performa mesin dengan memvariasikan bensin standar dan bensin yang ditambahi gas HHO 1, 1,5 dan 2 liter permenit. Metode pemasukan gas dengan menggunakan mixer yang berbentuk venturi disalurkan *intake manifold* mesin. Yang kemudian diuji pada mesin bensin 4 langkah 1 silinder buatan Honda, didapatkan hasil berupa *efisiensi thermal* meningkat 23% pada putaran 1350 rpm gambar 2.19, peningkatan torsi dan daya 12.6 % pada putaran 1350 rpm dengan penambahan gas HHO 2 liter per menit, penurunan konsumsi bahan bakar spesifik maksimum sebesar 16.9 % pada putaran 1350 rpm dan penurunan konsumsi bahan bakar spesifik minimumnya 2.9 % pada putaran 1750 rpm dengan penambahan 2 liter per menit gas HHO, dan konsentrasi gas buang CO dan NO<sub>x</sub> mengalami penurunan [6].

Berdasarkan uraian tersebut maka ingin dilakukan penelitian mengenai aplikasi gas HHO pada mesin sepeda motor Honda Megapro 150 cc. Pengujian dilakukan dengan bahan bakar standar (premium) yang digunakan sebagai kelompok kontrol, sedangkan kelompok uji adalah pengujian menggunakan tambahan gas HHO, baik pada pengujian standar maupun dengan pengapian yang dimundurkan 7°, 6°, 5° BTDC.

## 1.2 Rumusan Masalah

Sehubungan dengan penelitian mengenai pengaruh pemakaian bahan bakar bensin dengan penambahan gas HHO terhadap unjuk kerja dan karakteristik sepeda motor Mega Pro 150 cc, maka permasalahan yang akan dicari pemecahannya dapat dirangkum sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem pemasukan gas HHO kedalam mesin
2. Bagaimana pengaruh penambahan gas HHO ke mesin terhadap unjuk kerja dan emisi gas buang mesin, serta perubahan kondisi operasional mesin.
3. Bagaimana pengaruh pengaturan derajat pengapian terhadap unjuk kerja dan emisi gas buang mesin, serta perubahan kondisi operasional mesin.

## 1.3 Batasan Masalah

Agar pengujian yang dilakukan tidak terlalu melebar dari permasalahan yang ingin dicari pemecahannya, maka ditentukan batasan permasalahan. Adapun batasan masalah untuk penelitian ini adalah:

1. Engine yang digunakan adalah Honda Megapro 150 cc dalam kondisi standar.
2. Bahan bakar yang digunakan yaitu premium dan gas HHO.
3. Parameter yang diubah : memundurkan sudut pengapian  $7^\circ$ ,  $6^\circ$ ,  $5^\circ$  BTDC.
4. Percobaan ini dilakukan di Laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar Teknik Mesin ITS.
5. Elektroda yang digunakan adalah plat titanium dengan bentuk persegi ukuran  $80 \times 80 \text{ mm}^2$  dengan tebal 1,5 mm.
6. Generator gas HHO memiliki 1 cell menggunakan 15 lembar plat, dengan 1 liter air aquades dan 10 gram KOH sebagai katalis.
7. Putaran *engine* dianalisa mulai putaran 2000 rpm hingga 8000 rpm, dengan interval 1000 rpm.
8. Kondisi suhu ( $20^\circ - 25^\circ\text{C}$ ).

9. Bahan bakar yang digunakan adalah bahan bakar premium yang ada di pasaran dan diproduksi oleh Pertamina.
10. Tidak membahas generator HHO.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai dari tugas kahir ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh penambahan gas HHO dengan kondisi standar (premium) terhadap unjuk kerja mesin sepeda Motor Honda Megapro 150 cc.
2. Mengetahui pengaruh penambahan gas HHO dengan kondisi standar (premium) terhadap emisi gas buang mesin sepeda motor Honda Megapro 150 cc.
3. Mengetahui pengaruh pengaturan sudut pengapian, menggunakan kondisi standar (premium) dan penambahan gas HHO, terhadap performa dan emisi gas buang mesin Honda Megapro 150 cc.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Dari hasil penelitian, manfaat yang akan dihasilkan diantaranya :

1. Dapat menentukan komposisi campuran bahan bakar yang tepat yang dapat digunakan pada mesin sepeda motor Honda Megapro 150 cc agar didapatkan unjuk kerja terbaik.
2. Untuk menemukan bahan bakar baru sebagai alternatif pengganti bahan bakar fosil yang semakin terbatas.
3. Memberikan sumbangan pemikiran dan informasi kepada masyarakat dalam upaya pencarian energi alternatif yang ramah lingkungan yang sangat potensial untuk dikembangkan.

#### **1.6 Sistem Penulisan**

Sistematika penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut :

- BAB I PENDAHULUAN

Pada bagian ini diuraikan latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

- **BAB II DASAR TEORI**

Pada bagian ini diuraikan beberapa landasan teori dan hasil penelitian sebelumnya.

- **BAB III METODE PENELITIAN**

Pada bagian ini akan diuraikan metode penelitian, spesifikasi peralatan yang akan dipakai dalam pengujian, cara pengujian, dan data yang diambil.

- **BAB IV PERHITUNGAN DAN ANALISIS**

Pada bagian ini akan berisi perhitungan dan analisis dari data yang didapat saat melakukan penelitian.

## **BAB II**

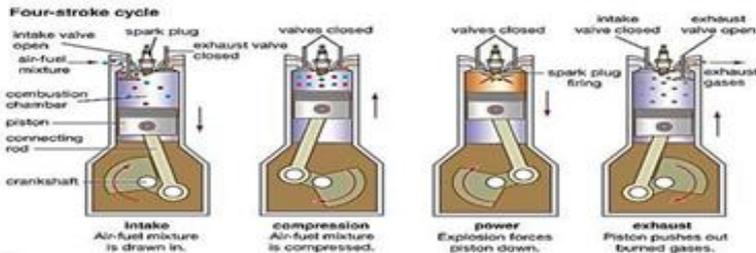
### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Siklus Motor Otto**

Menurut Arismunandar [7], motor bensin merupakan salah satu penggerak mula yang berperan penting sebagai tenaga penggerak. Pada motor bensin untuk mendapatkan energi thermal diperlukan proses pembakaran dengan menggunakan campuran bahan bakar dan udara di dalam mesin, sehingga motor bensin disebut juga sebagai motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*). Di dalam proses pembakaran ini gas hasil pembakaran yang terjadi sekaligus sebagai fluida kerja. Pada motor bensin campuran bahan bakar dan udara terjadi di dalam karbulator, kemudian dihisap masuk kedalam silinder selama langkah pengisapan. Kemudian campuran tersebut dimampatkan (dikompresikan) oleh torak dalam silinder pada akhir langkah kompresi terjadi loncatan bunga api listrik dari busi, akhirnya campuran bahan bakar dan udara terbakar sehingga diperoleh tenaga panas yang kemudian dikonversi menjadi tenaga mekanik. Tenaga mekanik tersebut dapat menimbulkan gerak translasi pada torak dan gerak rotasi pada *crank shaft*, yang pada akhirnya mesin dapat menghasilkan energi gerak yang berkesinambungan.

##### **2.1.1 Motor Bensin 4 Langkah**

Pada motor bensin empat langkah, *piston* (torak). Titik terjauh (atas) yang dapat dicapai oleh *piston* dinamakan Titik Mati Atas (TMA), sedangkan titik terdekat (bawah) disebut Titik Mati Bawah (TMB). Pada gambar 2.1 mengilustrasikan bahwa *four stroke – Otto engine* melakukan empat gerakan *piston* dalam satu siklus kerja yaitu *intake* (hisap), *compression* (tekan), *power* (usaha), *exhaust* (buang). Berikut adalah skema proses kerja 4 langkah :



**Gambar 2.1** Cara Kerja Motor Bensin 4 Langkah

Cara kerja motor bensin pada gambar 2.1 akan dijelaskan sebagai berikut :

a. Langkah hisap (*intake*)

Pada langkah hisap, *piston* bergerak dari TMA menuju TMB, dan katup hisap membuka sedangkan katup buang menutup, karena *piston* bergerak ke bawah, maka di dalam ruang silinder akan terjadi kevakuman sehingga campuran udara dan bahan bakar akan terhisap dan masuk ke dalam silinder.

b. Langkah kompresi (*compression*)

Pada langkah ini *piston* bergerak dari TMB menuju TMA, kondisi katup hisap dan katup buang tertutup semuanya. Karena *piston* bergerak ke atas, maka campuran udara dan bahan bakar yang berada didalam silinder tertekan. Dengan dikompresi, maka diharapkan tekanan dan temperatur udara dan bahan bakar meningkat, sehingga akan mudah terbakar dan menghasilkan langkah usaha.

c. Langkah Usaha (*power*)

Pada langkah ini mesin menghasilkan tenaga untuk menggerakkan *engine*. Sesaat sebelum *piston* sampai di TMA pada saat langkah kompresi, busi memercikkan bunga api pada campuran udara dan bahan bakar. Sehingga bahan bakar akan terbakar dan menimbulkan ledakan yang menyebabkan tekanan gas pembakaran meningkat sehingga dapat mendorong *piston* kebawah.

d. Langkah buang (*exhaust*)

Setelah akhir dari langkah usaha, *piston* bergerak dari TMB menuju TMA, pada saat ini katup buanglah yang membuka

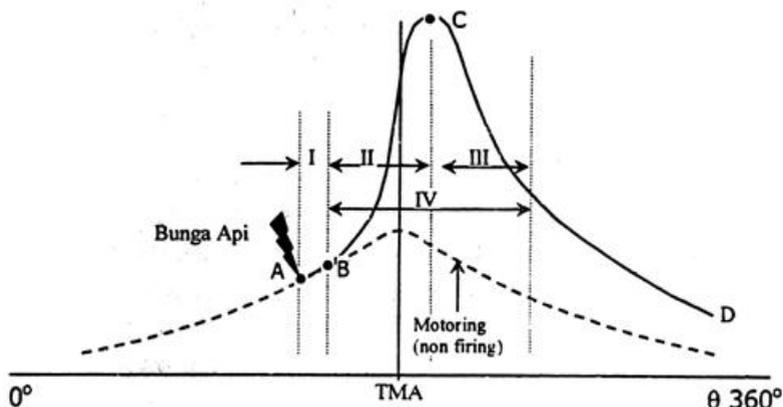
sedangkan katup hisap dalam keadaan tertutup. Karena *piston* bergerak ke atas, maka gas hasil pembakaran di dalam silinder akan terdorong dan ke luar melalui katup buang.

Keseluruhan proses di atas dapat terjadi apabila memenuhi beberapa kondisi berikut ini, yaitu :

1. Cukup tersedianya campuran bahan bakar-udara yang dapat terbakar.
2. Tersedia pemantik bunga api yang mampu membakar campuran bahan bakar – udara.
3. Adanya rambatan nyala api yang cukup stabil sehingga mampu membakar campuran bahan bakar – udara.

### 2.1.2 Proses Pembakaran Motor Bensin Empat Langkah

Menurut Kawano [8], pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar pada motor bensin terdiri dari beberapa tahapan seperti pada diagram dibawah ini.



Gambar 2.2 Grafik  $P-\theta$  aktual untuk motor bensin 4 langkah [8]

Keterangan :

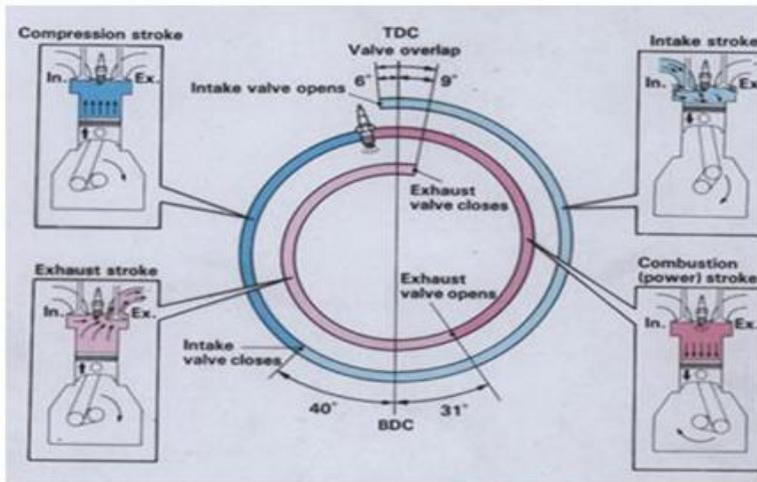
- I. : *Ignation Lag*
- II. : *Flame Propagation*
- III. : *After Burning*
- IV. : *Durasi Efektif Pembakaran*

Tahapan pertama disebut *ignation lag* yang merupakan fase persiapan yang mana terjadi pertumbuhan dan perkembangan dari inti api. Tahapan ini tergantung sepenuhnya pada sifat alami bahan bakar, seperti, temperatur, tekanan, sifat gas buang, dan laju percepatan oksidasi dalam ruang bakar. *Ignition lag* terjadi dari A-B pada saat kompresi berlangsung sehingga garis A-B disebut garis kompresi. Tahap kedua disebut *propagation of flame* dimana terjadi perubahan temperatur, tekanan, dan sifat bahan bakar akibat oksidasi. Perubahan tekanan terjadi disepanjang garis pembakaran (B-C). Pada grafik diatas, titik C menunjukkan selesainya perjalanan api. Namun, pembebasan panas dari bahan bakar masih berlangsung meskipun tidak memberikan kenaikan tekanan di dalam silinder dikarenakan pada saat itu sudah terjadi proses ekspansi. Oleh karena itu, tahapan ini dikenal dengan istilah pembakaran lanjut (*after burning*).

### **2.1.3 Valve Timing Mesin 4 Langkah**

Waktu pembakaran dan penutupan katup pada siklus ideal yaitu pada saat piston berada tepat di TDC ataupun di BDC. Namun hal tersebut tidak mungkin terjadi dikarenakan beberapa factor berikut :

1. Faktor Mekanikal, dimana proses buka tutup katup dilakukan dengan mekanisme *cam*, buka tutup katup harus dilakukan secara perlahan untuk menghindari keausan dan suara bising, dengan alasan tersebut proses buka tutup katup tidak boleh mendadak.
2. Faktor dinamik, selain masalah mekanikal proses buka tutup katup, pengaruh adanya aliran dinamik gas yang terjadi pada kedua katup [9].



Gambar 2.3 Valve Timing diagram mesin 4 langkah [9]

## 2.2 Karburator

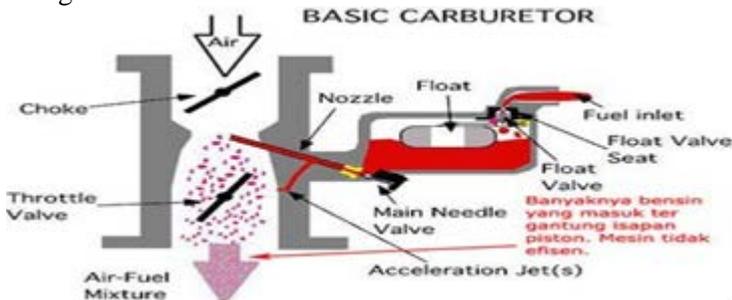
### 2.2.1 Prinsip Kerja Karburator

Pada motor bensin, udara dan bahan bakar dicampur sebelum memasuki ruang bakar, proses pencampuran ini disebut karburasi, sehingga alat yang digunakan untuk karburasi dinamakan karburator (*karburettor*). Pipa yang dilalui oleh campuran udara dan bahan bakar, yang menghubungkan antara karburator dengan silinder mesin disebut *intake manifold*. Pada karburator ada bagian yang sangat penting yang disebut “venturi”. Venturi merupakan bagian dari karburator yang luas menyempit, berdasarkan persamaan konversi massa, kecepatan bagian ini lebih tinggi dibandingkan dengan bagian yang lain. Dari gambar 2.4 terdapat satu komponen yang sangat berpengaruh terhadap besarnya laju alir massa bahan bakar yang masuk dari ruang pengapung (*float chamber*) ke venturi, komponen tersebut adalah main jet. Berdasarkan persamaan Bernoulli bila kecepatan naik maka tekanannya turun, penurunan tekanan ini menyebabkan kevakuman sehingga bensin dari ruang

pelampung karburator (tekanannya yang dihasilkan akan sama dengan tekanan dengan atmosfer) dapat mengalir ke venturi (tekanannya lebih rendah dari tekanan atmosfer). Untuk lebih jelasnya lihat gambar 2.4.

Empat faktor penting yang nyata mempengaruhi proses karburasi (M.L. Marthur dan R.P. Sharma, 1980) adalah diantaranya :

1. Waktu yang tersedia untuk persiapan pencampuran.
2. Temperatur udara masuk.
3. Kualitas Bahan Bakar.
4. Rancangan sistem induksi dan ruang bakar.
5. Sistem induksi adalah proses komplikasi yang melibatkan tekanan masuk campuran, tekanan kompresi, dan tekanan buang.



Gambar 2.4 Bagian-bagian penting karburator

### 2.2.2 Jenis-Jenis Karburator

Secara umum ada dua jenis karburator yaitu jenis *open choke* dan jenis vakum konstan. Contoh karburator jenis *open choke* diantaranya: karburator solex, karburator carter, karburator zenith, dan karburator variable. Sedangkan contoh karburator jenis vakum konstan adalah karburator S.U.

Berdasarkan arah aliran udara yang menuju ruang bakar, karburator juga dibedakan menjadi tiga, diantaranya: aliran mendatar (horizontal), aliran keatas (*updraugh*), dan aliran kebawah (*downdraught*). Kelebihan aliran kebawah adalah aliran dibantu gaya gravitasi.

### 2.2.3 Peralatan-Peralatan Didalam Karburator Yang Penting

Peralatan-peralatan didalam karburator yang penting diantaranya:

1. Peralatan putaran stasioner/idle

Peralatan ini berguna untuk menyuplai campuran udara dan bahan bakar yang cukup untuk menghidupkan mesin pada putaran stasioner. Putaran stasioner pada kendaraan bermotor adalah putaran mesin dimana torsi yang dihasilkan belum cukup untuk memutar roda (menggerakkan kendaraan), berguna untuk memanasi mesin sebelum kendaraan dijalankan atau mempertahankan mesin tetap hidup pada saat tidak berjalan. Pada putaran stasioner, katup gas belum terbuka sama sekali, suplai udara dan bahan bakar melalui saluran khusus untuk putaran stasioner.

2. Peyemprotan Utama (main jet)

Main jet merupakan peralatan yang menyuplai bahan bakar sesuai dengan putaran mesin (berdasarkan besarnya penurunan tekanan yang terjadi). Main jet biasanya berbentuk orifice agar butiran-butiran bahan bakar terpecah-pecah sekecil mungkin sehingga dapat terbakar sempurna diruang bakar. Main jet berhubungan dengan ruang apung. Ketinggian ujung main jet lebih tinggi sedikit dari pada ketinggian permukaan bahan bakar di ruang apung.

3. Ruang Apung (Float Chamber)

Ruang apung berguna untuk menyediakan bahan bakar yang akan dikirim ke berbagai peralatan didalam karburator diantaranya: peralatan putaran stasioner, peralatan penyemprotan utama, dan peralatan percepatan. Didalam ruang apung terdapat pelampung yang dihubungkan dengan sebuah katup jarum berguna untuk mengisi bahan bakar ke ruang apung apabila permukaannya turun, dan menutup lubang pemasukannya apabila tinggi permukaannya sudah pada level tertentu.

4. Peralatan Percepatan

Pada saat mesin diputar dengan putaran tinggi, suplai bahan bakar dari main jet tetap, tetapi kebutuhan mesin akan bahan bakar bertambah. Untuk mengatasi kekurangan tersebut,

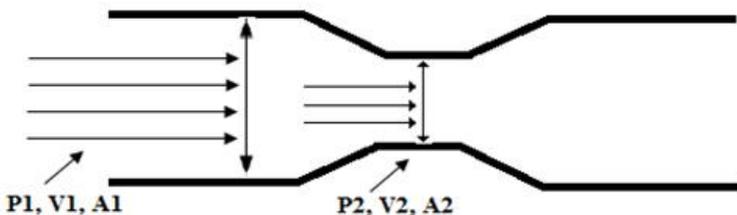
karburator dilengkapi oleh peralatan percepatan yang hanya bekerja pada saat mesin berputar pada putaran tinggi.

#### 5. Peralatan Choke

Choke merupakan katup kupu-kupu (*butterfly valve*) yang dapat membuka dan menutup saluran udara masuk karburator, pada saat mesin distart, khususnya pada saat mesin masih dingin (dinding silinder pada ruang bakar masih dingin), untuk pembakaran awal dibutuhkan campuran kaya agar mesin mudah distart, campuran kaya ini bisa diperoleh dengan menutup saluran udara dengan choke.

### 2.2.4 Perhitungan Didalam Karburator

Perbandingan bahan bakar dengan udara untuk campuran stoikiometri adalah 1 : 14.7, artinya 1 gram bahan bakar terbakar sempurna dengan 14,7 gram udara. Bila jumlah udara dalam campuran diperbanyak berarti pembakaran dengan campuran kurus (*lean mixture*). Sebaliknya bila jumlah udara dalam campuran dikurangi berarti pembakaran berlangsung dengan jumlah bahan bakar yang lebih banyak atau dinamakan campuran kaya (*rich mixture*). Campuran stokiometri adalah campuran ideal secara teoritis, tetapi kenyataannya perbandingannya tidak selalu stokiometri, hal itu disebabkan berbagai hal, di antaranya karena putaran dan beban mesin berubah-ubah. Didalam karburator ada tiga bagian yang penting yang menentukan perhitungan-perhitungan baik untuk menghitung kecepatan tekanan, maupun laju alir massa.



Gambar 2.5 Penampang venturi karburator

Tiga bagian tersebut yaitu: diameter inlet, diameter leher (throat)/venturi, dan diameter jet. Persamaan-persamaan yang digunakan diantaranya hukum konservasi massa dan persamaan bernoulli. Hukum konservasi massa menyatakan “untuk aliran steady, besarnya laju alir massa masuk suatu kontrol volume (kondisi 1) (perhatikan gambar 2.5) sama dengan besarnya laju alir masa keluar kontrol volume (kondisi 2) tersebut, atau:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \dots \dots \dots (2.1)$$

$$(\rho \cdot V \cdot A)_1 = (\rho \cdot V \cdot A)_2 \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

$\dot{m}_1$  = laju alir masa disalurkan masuk karbulator (kg/s, lbm/s)

$\dot{m}_2$  = laju alir masa diventuri masuk karbulator (kg/s, lbm/s)

$\rho_1, \rho_2$  = *density* atau rapat jenis udara

$V_1$  = kecepatan udara disalurkan masuk karburator (m/s, ft/s)

$V_2$  = kecepatan udara disalurkan keluar karburator (m/s, ft/s)

$A_1$  = luas penampang di saluran masuk ( $m^2, ft^2$ )

$A_2$  = luas penampang venturi ( $m^2, ft^2$ )

$D_1$  = diameter pipa saluran masuk (m, ft)

$D_2$  = diameter pipa ventri (m, ft)

Sehingga :

$$V_1 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_1 = V_2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_2 \dots \dots \dots (2.3)$$

Persamaan Bernoulli:

$$P_1/\gamma + V_1^2/2g + z_1 = P_2/\gamma + V_2^2/2g + z_2 \dots \dots \dots (2.4)$$

Karena ketinggian di saluran masuk karburator sama dengan atau kecil sekali perbedaannya dengan di venturi, maka  $z_1 = z_2$ ,

Sehingga :

$$P_1/\gamma + V_1^2/2g = P_2/\gamma + V_2^2/2g \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

$P_1$  = tekanan udara absolut disalurkan masuk karburator (Pa, Psi)

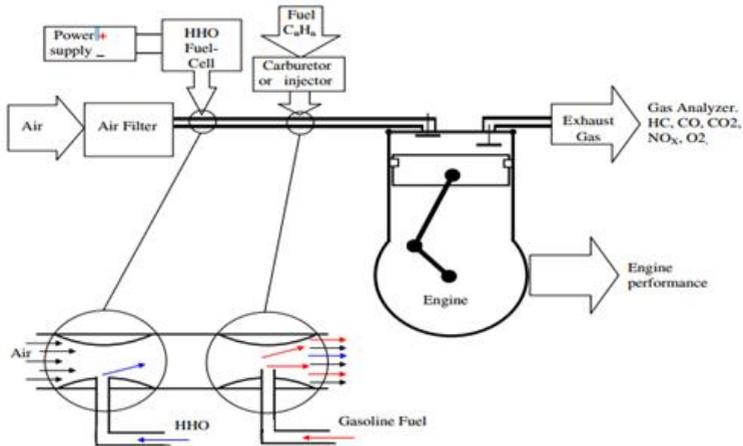
$P_2$  = tekanan udara absolut disalurkan venturi (Pa, Psi)

$\gamma$  = berat jenis udara ( $N/m^3, lb_f/ft^3$ )

$g$  = gaya gravitasi bumi ( $9,81 m/s^2, 32,2 ft/s^2$ )

## 2.3 Teknologi Pemasukan Gas HHO Pada Mesin Bensin

### 2.3.1. Pemasukan Gas Melalui *Intake Manifold*



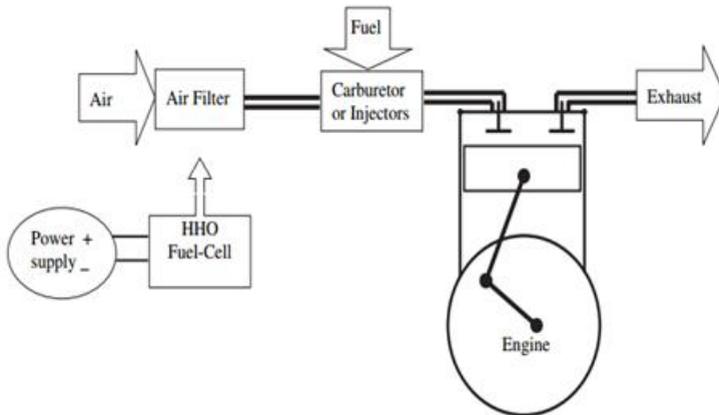
**Gambar 2.6.** Proses Pemasukan Gas HHO pada saluran intake manifold [11].

Metode ini adalah metode yang umum dilakukan untuk pengujian gas HHO, yaitu dengan menginjeksikan gas HHO dengan metode mixer yang berbentuk venturi pada saluran *intake manifold engine*, dengan perancangan sebagai berikut: gas HHO yang dihasilkan oleh generator disambungkan secara seri ke *watertank* atau bubler guna menampung gas yang mengandung air yang dihasilkan oleh generator HHO sehingga ketika keluar *watertank* murni gas HHO, kemudian gas tersebut akan dihisap oleh mesin pada saluran intake manifold karena kevakuman di venturi [11].

Pada penelitian sebelumnya [11], yang dilakukan pada mesin bensin empat langkah pada sepeda motor mio, dimana gas HHO yang dihasilkan generator gas HHO kemudian diinjeksikan di saluran *intake manifold* didapatkan hasil peningkatan torsi sebesar 23,51% pada putaran 8000 rpm dengan pengisian spull, peningkatan daya efektif sebesar 28,31% pada pembebanan putaran 8000 rpm dengan pengisian spull, penurunan konsumsi

bahan bakar sebesar 28,27% pada putaran 6500 rpm, dengan pengisian baterai maupun spull. Selain itu dihasilkan penurunan tertinggi kadar CO sebesar 77,50% pada lamda 1,99 dengan pengisian spull kadar HC sebesar 65,43% pada 1,99 dengan pengisian baterai dan kenaikan emisi CO<sub>2</sub> sebesar 45,56%, pada lamda 1,215 dengan pengisian baterai.

### 2.3.2 Pemasukan Gas HHO Melalui *Air Filter*



**Gambar 2.7.** Proses Pemasukan gas HHO pada Air Filter [11]

Metode ini adalah metode yang jarang digunakan untuk memasukan gas HHO, pada metode ini gas HHO yang dihasilkan langsung diinjeksikan ke saringan udara, dengan cara gas HHO yang dihasilkan oleh generator disambungkan secara seri ke water tank atau bubler guna menampung gas yang mengandung air yang dihasilkan oleh generator HHO, gas tersebut akan diinjeksikan melalui saringan udara yang disalurkan secara langsung melalui selang.

Pada penelitian sebelumnya [12], pemasukan gas HHO pada *engine* dengan menginjeksikan gas HHO pada saringan udara pada sepeda motor, variasi yang diuji berupa penggunaan generator pada gas HHO dan tanpa menggunakan generator gas HHO, didapatkan hasil berupa peningkatan daya dan penghematan

konsumsi bahan bakar bensin pada mesin sepeda motor. Dengan menggunakan generator gas HHO dapat meningkatkan daya dan penurunan konsumsi bahan bakar bensin pada mesin sepeda motor. Dengan menggunakan generator HHO terjadi peningkatan daya mesin sepeda motor sampai 51,54% dan penghematan konsumsi bahan bakar bensin sampai 19%. Peningkatan tersebut terjadi pada putaran mesin 3000 rpm.

## **2.4 Pengaruh Penambahan Gas HHO pada *Engine***

Gas hidrogen hidrogen oksida (HHO) yang telah dihasilkan akan terhisap di mesin. Gas tersebut terbentuk akibat adanya arus listrik, Misalkan dari *accu* 12 volt. Jika kedua kutub elektroda (Katoda dan anoda) diberi arus listrik, elektroda tersebut akan saling berhubungan karena adanya larutan elektrolit sebagai penghantar listrik. Dengan adanya aliran listrik pada elektroda, menyebabkan gelembung gelembung kecil berwarna putih. Inilah proses produksi gas hidrogen hidrogen oksida yang berlangsung [13].

Gas hidrogen dihasilkan oleh kutub (-), sedangkan oksigen dihasilkan oleh kutub (+). Gelembung-gelembung gas HHO akan bergerak ke permukaan larutan elektrolit dan melayang ke atas dan terisap oleh putaran mesin. Selanjutnya, gas HHO yang mempunyai nilai oktan yang lebih tinggi, secara otomatis akan meningkatkan kalori bahan bakar (bensin atau solar). Bensin atau solar memiliki nilai oktan yang jauh gas HHO akan terbakar habis tanpa sisa (pembakaran sempurna). Semakin tinggi nilai oktan suatu bahan bakar, daya ledak yang dihasilkan lebih dasyat. Efek ledakan tersebut akan meningkat dan konsumsi bahan bakar menjadi irit. Keuntungan Menggunakan gas HHO sebagai berikut:

- Mampu menghemat 15%-37% bahan bakar.
- Tenaga mesin meningkat, sebab nilai oktan gas hidrogen lebih tinggi, yaitu ketika 130, dibandingkan bahan bakar minyak (80-100).
- Daya mobil lebih stabil.

- Gas HHO tidak merusak mesin, tetapi justru menjadikan mesin lebih awet, sebab bahan pembakaran lebih sempurna.
- Temperatur mesin stabil.
- Minyak pelumas (Oli) mesin tidak cepat hitam.
- Suara mesin lebih halus.
- Lebih ramah lingkungan [13].

Beberapa kendala yang terjadi jika diaplikasikan ke mesin :

- Terjadinya *back fire* pada mesin, sehingga terjadi peledakan terhadap generator HHO akibat api dari mesin menjalar ke saluran produksi gas dan masuk ke generator HHO yang dimasukkan ke *intake manifold*.
- Terjadi peledakan pada mesin, karena tidak dilengkapi dengan sistem kontrol, sehingga terjadi penumpukan gas HHO pada *engine*, gas yang dihasilkan generator HHO masuk dan menumpuk didalam silinder ruang bakar, dan pada waktu mesin distart maka akan timbul ledakan karena jumlah gas HHO yang banyak.
- Penambahan katalis NaOH akan menimbulkan kerak atau kristal putih dalam saluran udara bahan bakar maupun *throttle* sampai ke ruang bakar mesin [14].

## 2.5 Bahan Bakar

### 2.5.1 Bahan Bakar Bensin

Motor bensin dirancang dengan menggunakan bahan bakar *fossil fuel* yang diperoleh dari destilasi pendidihan minyak mentah (*crude oil*) pada suhu 30° sampai 200°C. Hidrokarbon yang terdapat didalamnya terdiri dari *parafin*, *naphtalene*, *olefin* dan *aromatik* dengan jumlah atom karbon bervariasi mulai 6 sampai 11. Bahan bakar *gasoline* adalah fraksi petroleum yang paling ringan. Semua material yang mempunyai temperatur didih dibawah 200° C digolongkan sebagai bensin. Bensin sendiri adalah campuran sejumlah hidrokarbon (lebih dari 500 macam hidrokarbon). Bensin mempunyai spesifik gravity antara 0,73 sampai 0,76 dan inilah yang biasa digunakan pada *spark Ignation engine* (*otto engine*, dan lain-lain). Properti bahan bakar adalah

sifat atau karakter yang dimiliki oleh suatu bahan bakar tersebut dalam proses atomisasi dan pembakaran. Properti umum yang perlu diketahui untuk menilai kinerja bahan bakar motor bensin antara lain :

**a. Densitas, Specific Gravity dan API Gravity**

*Densitas* didefinisikan sebagai perbandingan massa bahan bakar terhadap volume bahan bakar pada suhu acuan 15°C. Sedangkan *Specific Gravity (SG)* didefinisikan sebagai perbandingan berat dari sejumlah volum minyak bakar terhadap berat air untuk volume yang sama pada suhu tertentu densitas bahan bakar, *relative* terhadap air. *Specific Gravity* dinyatakan dalam persamaan,

$$SG_{\text{terhadap air}} = \frac{\text{densitas bahan bakar}}{\text{densitas air}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Sementara hubungan nilai *Specific Gravity* dengan *API Gravity* adalah sebagai berikut:

$$API\ Gravity = \frac{141,5}{SG} - 131,5 \dots\dots\dots(2.2)$$

**b. Viskositas**

Viskositas atau kekentalan dari suatu cairan adalah tahanan yang dimiliki fluida yang dialirkan dalam pipa kapiler terhadap gaya gravitasi, biasanya dinyatakan dalam waktu yang diperlukan untuk mengalir dalam jarak tertentu. Viskositas merupakan sifat penting dalam penyimpanan dan penggunaan bahan bakar. Viskositas mempengaruhi derajat pemanasan awal yang diperlukan untuk *handling*, penyimpanan dan atomisasi yang memuaskan dan jika viskositas terlalu tinggi maka akan menyulitkan dalam penginjeksian sehingga atomisasi bahan bakar menjadi jelek. Sedangkan apabila terlalu rendah maka potensi keausan pada saluran injeksi menjadi semakin cepat. Persamaan viskositas kinematis dinyatakan dalam persamaan :

$$v = C. t \dots\dots\dots(2.3)$$

**c. Flash Point**

*Flash point* atau titik nyala suatu bahan bakar adalah suhu terendah dimana bahan bakar dapat dipanaskan sehingga uap mengeluarkan nyala sebentar bila dilewatkan suatu nyala api.

**d. Pour Point**

*Pour point* atau titik tuang suatu bahan bakar adalah suhu terendah dimana bahan bakar masih dapat mengalir karena gaya gravitasi. Ini merupakan indikasi yang sangat kasar untuk suhu terendah dimana bahan bakar minyak siap untuk diinjeksikan.

**e. Sulphur Content**

*Sulphur content* atau kandungan belerang dalam bahan bakar bensin dari hasil penyulingan sangat tergantung pada asal minyak mentah yang akan diolah. Keberadaan belerang tidak diharapkan karena sifatnya merusak yaitu apabila oksida belerang bereaksi dengan air merupakan bahan yang korosif terhadap logam di ruang bakar. Selain itu menimbulkan polusi lingkungan akibat oksidasi belerang dengan oksigen selama proses pembakaran.

**g. Octane Number**

Angka oktan merupakan nilai yang dimiliki bahan bakar sehubungan dengan kemudahan dari bahan bakar untuk terbakar sendiri (*auto ignition*). Penentuan nilai oktan dilakukan dengan membandingkan karakteristik ketukan bahan bakar tersebut dengan referensi ketukan beberapa bahan bakar (Primary Reference Fuel) yang berisi campuran dari *iso*-oktana dan *n*-heptana. *N*-heptana merupakan senyawa hidrokarbon dengan sifat anti knock yang sangat jelek dan diberi skala 0 sedangkan *isoo*ktana merupakan senyawa yang sifat anti *knocking* sangat baik dan diberi skala 100, sehingga bahan bakar yang memiliki angka oktan 80,5 dapat diartikan bahwa bahan bakar tersebut mempunyai intensitas ketukan yang sama dengan yang diberikan oleh 80,5 *PRF* (80,5% *iso*-oktana dan 19,5% *n*-heptana). Kualitas oktan yang tinggi menunjukkan kemampuannya yang bagus dalam menghambat terjadinya *knocking* pada motor.

### ***h. Calorific Value***

*Calorific value* atau nilai kalor merupakan suatu angka yang menyatakan jumlah panas atau kalori yang dihasilkan dari proses pembakaran sejumlah tertentu bahan bakar dengan udara atau oksigen. Nilai kalor dinyatakan dalam 2 ukuran besaran, yaitu nilai kalor atas, NKA (jika air hasil pembakaran dalam fase cair) dan nilai kalor bawah, NKB (jika air hasil pembakaran dalam fase uap). Besarnya nilai kalor atas diuji dengan *bomb calorimeter*, dan nilai kalor bawah dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$NKB = NKA - \left( \frac{m_{air}}{m_{sample}} \times LH \right) \dots \dots \dots (2.4)$$

### ***i. Carbon Residue***

Banyaknya deposit atau kerak pada dinding ruang bakar mengindikasikan tingginya kandungan *carbon residue* suatu bahan bakar. *Carbon residue* atau residu karbon dalam ruang pembakaran dapat mengurangi kinerja mesin, karena pada suhu tinggi karbon ini dapat membara sehingga menaikkan suhu ruang bakar.

### ***j. Ash Content***

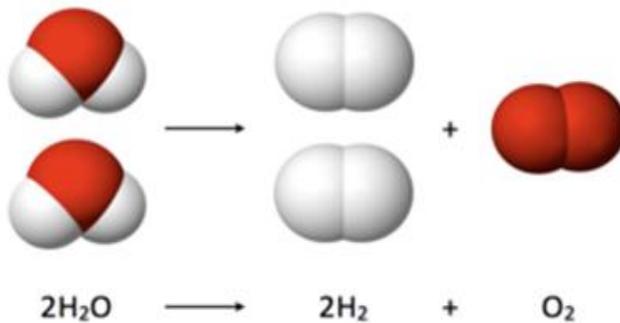
*Ash content* atau kadar abu adalah jumlah sisa-sisa dari minyak yang tertinggal, apabila suatu minyak dibakar sampai habis. Kadar abu erat kaitannya dengan bahan inorganik atau garam dalam bahan bakar minyak. Garam-garam tersebut mungkin dalam bentuk senyawa sodium, vanadium, kalsium, magnesium, silikon, besi, dan aluminium.

## **2.5.2 Gas HHO (Hidrogen Hidrogen Oksida)**

Air merupakan suatu senyawa yang penting karena memiliki sifat-sifat yang penting untuk adanya suatu kehidupan. Air menutupi hampir 71% permukaan bumi. Air adalah suatu substansi kimia dengan rumus kimia  $H_2O$  dimana dalam satu molekul air tersusun atas dua atom Hidrogen yang terikat pada satu atom Oksigen. Kedua senyawa yang membentuk air ini

merupakan komponen pokok dan mendasar dalam memenuhi kebutuhan seluruh makhluk hidup sebagai sumber energi.

Molekul air dapat diuraikan menjadi unsur-unsur asalnya dengan mengalirinya arus listrik. Proses ini disebut sebagai elektrolisis air. Gas yang dihasilkan dari proses elektrolisis air tersebut adalah gas Hidrogen dan Oksigen, dengan komposisi 2 atom Hidrogen dan 1 atom Oksigen atau biasa disebut juga sebagai gas HHO. Skema pemecahan molekul air menjadi gas HHO tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.8** Proses pemecahan molekul air menjadi gas HHO.

Namun gas hasil dari elektrolisis air tersebut baru diberi nama dan dipatenkan oleh Dr. Yull Brown, pada tahun 1974, sehingga gas tersebut juga diberi nama *Brown gas*, atau juga dikenal dengan sebutan oxy-hydrogen. Selain menggunakannya sebagai suplemen bahan bakar pada mesin, Dr. Yull Brown juga menggunakan *Brown gas* untuk pengelasan (*cutting and welding torch*). Adapun perbandingan nilai energi yang dimiliki oleh hidrogen paling besar diantara *gas fuel* yang lain, seperti pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Perbandingan Nilai Properti Termokimia Pada Kondisi Atmosfer

**TABLE A-25** Thermochemical Properties of Selected Substances at 298K and 1 atm

Substance	Formula	Molar Mass, $M$ (kg/kmol)	Enthalpy of Formation, $\bar{h}_f^\circ$ (kJ/kmol)	Gibbs Function of Formation, $\bar{g}_f^\circ$ (kJ/kmol)	Absolute Entropy, $S^\circ$ (kJ/kmol · K)	Heating Values	
						Higher, HHV (kJ/kg)	Lower, LHV (kJ/kg)
Carbon	C(s)	12.01	0	0	5.74	32,770	32,770
Hydrogen	H <sub>2</sub> (g)	2.016	0	0	130.57	141,780	119,950
Nitrogen	N <sub>2</sub> (g)	28.01	0	0	191.50	—	—
Oxygen	O <sub>2</sub> (g)	32.00	0	0	205.03	—	—
Carbon monoxide	CO(g)	28.01	-110,530	-137,150	197.54	—	—
Carbon dioxide	CO <sub>2</sub> (g)	44.01	-393,520	-394,380	213.69	—	—
Water	H <sub>2</sub> O(g)	18.02	-241,820	-228,590	188.72	—	—
Water	H <sub>2</sub> O(l)	18.02	-285,830	-237,180	69.95	—	—
Hydrogen peroxide	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (g)	34.02	-136,310	-105,600	232.63	—	—
Ammonia	NH <sub>3</sub> (g)	17.03	-46,190	-16,590	192.33	—	—
Oxygen	O(g)	16.00	249,170	231,770	160.95	—	—
Hydrogen	H(g)	1.008	218,000	203,290	114.61	—	—
Nitrogen	N(g)	14.01	472,680	455,510	153.19	—	—
Hydroxyl	OH(g)	17.01	39,460	34,280	183.75	—	—
Methane	CH <sub>4</sub> (g)	16.04	-74,850	-50,790	186.16	55,510	50,020
Acetylene	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (g)	26.04	226,730	209,170	200.85	49,910	48,220
Ethylene	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (g)	28.05	52,280	68,120	219.83	50,300	47,160
Ethane	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (g)	30.07	-84,680	-32,890	229.49	51,870	47,480
Propylene	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> (g)	42.08	20,410	62,720	266.94	48,920	45,780
Propane	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (g)	44.09	-103,850	-23,490	269.91	50,350	46,360
Butane	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (g)	58.12	-126,150	-15,710	310.03	49,500	45,720
Pentane	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (g)	72.15	-146,440	-8,200	348.40	49,010	45,350
Octane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> (g)	114.22	-208,450	17,320	463.67	48,260	44,790
Octane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> (l)	114.22	-249,910	6,610	360.79	47,900	44,430
Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (g)	78.11	82,930	129,660	269.20	42,270	40,580
Methyl alcohol	CH <sub>3</sub> OH(g)	32.04	-200,890	-162,140	239.70	23,850	21,110
Methyl alcohol	CH <sub>3</sub> OH(l)	32.04	-238,810	-166,290	126.80	22,670	19,920
Ethyl alcohol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH(g)	46.07	-235,310	-168,570	282.59	30,590	27,720
Ethyl alcohol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH(l)	46.07	-277,690	174,890	160.70	29,670	26,800

Source: Based on JANAF Thermochemical Tables, NSRDS-NBS-37, 1971; Selected Values of Chemical Thermodynamic Properties, NBS Tech. Note 270-3, 1968; and API Research Project 44, Carnegie Press, 1953. Heating values calculated.

## 2.6 Pemilihan Elektroda Titanium

Titanium adalah sebuah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Ti dan nomor atom 22. Unsur ini merupakan logam transisi yang ringan, kuat, berkilau, tahan korosi (termasuk tahan terhadap air laut, aqua regia, dan klorin) dengan warna putih metalik kepekaan.

Titanium dapat digunakan sebagai ali dengan besi, aluminium, vanadium, dan molybdenum, untuk memproduksi aloi yang kuat namun ringan untuk penerbangan (mesin jet, misil, dan wahana antariksa), militer, proses industri (kimia dan petrokimia, pabrik desalinasi, pulp, dan kertas), otomotif, agro industri, alat

kedokteran, implan ortopedi, peralatan dan instrumen dokter gigi, implan gigi, alat olahraga, jenis perhiasan, telepon genggam, dan masih banyak aplikasi lainnya.

Tiga sifat yang paling berguna pada titanium adalah ketahanan korosi, rasio kekuatan terhadap densitasnya yang paling tinggi di antara semua logam lain dan *linear thermal expansion coefficient* rendah diantara logam lain. Pada kondisi murni, titanium sama kuat dengan beberapa baja, namun lebih ringan. Ada dua bentuk [alotropi](#) dan lima isotop alami dari unsur ini, Ti sampai Ti, dengan Ti adalah yang paling banyak terdapat di alam (73,8%). Meski memiliki jumlah [elektron valensi](#) dan berada pada golongan tabel priodik yang sama dengan zirkonium, keduanya memiliki banyak perbedaan pada sifat kimia dan fisika. Berikut adalah karakteristik dari titanium dibandingkan logam lain tabel 2.2.

**Tabel 2.2.** Beberapa karakteristik penting dari paduan titanium dibandingkan dengan bahan logam lainnya Fe, Ni, dan Al [4].

	Linear Thermal Expansion Coefficient ( $10^{-6}K^{-1}$ )	Thermal Conductivity ( $W m^{-1}K^{-1}$ )	Specific Heat Capacity ( $J kg^{-1}K^{-1}$ )	Electrical Resistivity ( $\mu\Omega m$ )
titanium	8.4	20	523	0.42
Ti-6Al-4V	9.0	7	530	1.67
Ti-15-3	8.5	8	500	1.4
Fe	11.8	80	450	0.09
Ni	13.4	90	440	0.07
Al	23.1	237	900	0.03

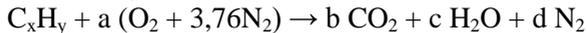
## 2.7 Teori Pembakaran

Pembakaran merupakan oksidasi cepat bahan bakar disertai dengan produksi panas dan cahaya. Bahan bakar akan terbakar sempurna hanya jika ada pasokan oksigen ( $O_2$ ) yang cukup. Jumlah oksigen mencapai 20,9% dari udara, sebanyak hampir 79% merupakan nitrogen ( $N_2$ ) dan sisanya adalah elemen lain. Nitrogen sendiri mempunyai fungsi sebagai pengencer yang menurunkan suhu yang harus ada untuk mencapai oksigen yang

dibutuhkan dalam pembakaran. Nitrogen mengurangi efisiensi pembakaran dengan cara menyerap panas dari pembakaran bahan bakar dan mengencerkan gas buang. Nitrogen dapat bergabung dengan oksigen terutama pada suhu nyala yang tinggi untuk menghasilkan oksida nitrogen ( $\text{NO}_x$ ) yang merupakan pencemar udara yang beracun. Pada kondisi tertentu, karbon juga dapat bergabung dengan oksigen membentuk karbon monoksida, dengan melepaskan sejumlah kecil panas (2,430 kkal/kg karbon). Karbon terbakar yang membentuk  $\text{CO}_2$  akan menghasilkan lebih banyak panas per satuan bahan bakar dari pada bila menghasilkan CO atau asap.

### 2.7.1 Perhitungan Stoikiometri Kebutuhan Udara

Bahan bakar hidrokarbon akan dioksidasi secara menyeluruh menjadi karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan uap air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) jika tersedia pasokan oksigen dalam jumlah yang cukup. Kondisi pembakaran yang demikian disebut sebagai pembakaran stoikiometri dan persamaan reaksi kimia untuk pembakaran stoikiometri dari suatu bahan bakar hidrokarbon ( $\text{C}_x\text{H}_y$ ) dengan udara dituliskan sebagai berikut [19]:



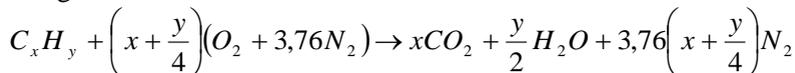
Kesetimbangan C :  $x = b$

Kesetimbangan H :  $y = 2c \rightarrow c = y/2$

Kesetimbangan O :  $2a = 2b + c \rightarrow a = b + c/2 \rightarrow a = x + y/4$

Kesetimbangan N :  $2(3,76)a = 2d \rightarrow d = 3,76a \rightarrow d = 3,76(x + y/4)$

Substitusi persamaan-persamaan kesetimbangan diatas kedalam persamaan reaksi pembakaran  $\text{C}_x\text{H}_y$  menghasilkan persamaan sebagai berikut :



Jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mendapatkan pembakaran stoikiometri adalah :

$$m_{O_2} = \frac{m_{\text{atom } O_2}}{m_{\text{mol } C_x H_y}} \times \text{persentase } C_x H_y \text{ (kg/kg bahan bakar)}$$

Stoikiometri massa yang didasarkan pada rasio udara dan bahan bakar (*air fuel ratio*) untuk bahan bakar hidrokarbon ( $C_x H_y$ ) adalah sebagai berikut :

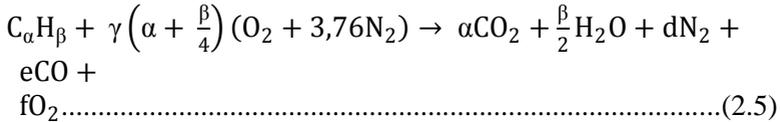
$$\left(\frac{A}{F}\right)_s = \frac{m_{air}}{m_{fuel}} = \frac{\left(\sum n_i \bar{M}_i\right)_{air}}{\left(\sum n_i \bar{M}_i\right)_{fuel}} = \frac{\left(x + \frac{y}{4}\right) \bar{M}_{O_2} + 3,76 \left(x + \frac{y}{4}\right) \bar{M}_{N_2}}{x \bar{M}_C + y \bar{M}_H}$$

Pada bahan bakar bensin, udara yang dibutuhkan untuk membakar 1 kg bahan bakar adalah 14,7 kg yang kemudian disebut perbandingan campuran udara dan bahan bakar stoikiometri 14,7:1. Sedangkan pada bahan bakar gas (*Compressed Natural Gas*) perbandingan campuran udara dan bahan bakar stoikiometri adalah 17:1. Faktor udara eksek (*excess-air factor*)  $\lambda$  mengindikasikan seberapa jauh perbandingan udara dan bahan bakar aktual dengan perbandingan udara dan bahan bakar teoritis.  $\lambda=1$  menunjukkan bahwa mesin berjalan dengan perbandingan udara dan bahan bakar stoikiometri. Jika  $\lambda < 1$  menunjukkan mesin tersebut mengandung lebih banyak bahan bakar (campuran kaya), sedangkan jika  $\lambda > 1$  (dibawah batasan  $\lambda=1,6$ ) menunjukkan mesin tersebut mengalami kelebihan udara (campuran miskin).

### 2.7.2 Pembakaran *Non-Stoikiometri*

Menurut B. Heywood [15], mekanisme pembakaran dituntut dapat berlangsung secara cepat sehingga sistem-sistem pembakaran dirancang dengan kondisi udara berlebih. Hal ini dimaksudkan untuk mengantisipasi kekurangan udara akibat tidak sempurnanya proses pencampuran antara udara dan bahan bakar. Pembakaran yang demikian disebut sebagai pembakaran

*non* stoikiometri dari suatu bahan bakar hidrokarbon (C<sub>α</sub>H<sub>β</sub>) dengan udara dituliskan sebagai berikut :



- a. Pembakaran dengan komposisi campuran stoikiometri.  
 Pada proses ini terjadi perpindahan panas yang maksimum dengan kehilangan panas yang minimum. Hasil pembakaran berupa CO<sub>2</sub>, uap air, dan N<sub>2</sub>.
- b. Pembakaran dengan komposisi campuran miskin.  
 Pada proses ini terjadi perpindahan panas yang maksimum tetapi diikuti dengan bertambahnya kehilangan panas karena udara berlebih. Hasil pembakaran berupa CO<sub>2</sub>, uap air, O<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub>.
- c. Pembakaran dengan komposisi campuran kaya.  
 Pada proses ini terjadi perpindahan panas yang kurang maksimum karena ada bahan bakar yang belum terbakar. Hasil pembakaran berupa HC, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, dan N<sub>2</sub>. Sedangkan fraksi karbon terbentuk dari reaksi sekunder antara CO dan H<sub>2</sub>O.

**2.8 Parameter-Parameter Unjuk Kerja Mesin Bensin**

Menurut Pudjanarsa *et. al* [16], menjelaskan ada beberapa parameter yang digunakan untuk mengevaluasi unjuk kerja dari mesin Sinjai, antara lain:

**2.8.1 Torsi**

Kemampuan mesin dalam menghasilkan kerja ditunjukkan dengan nilai torsi yang dihasilkannya. Dalam keadaan sehari-hari torsi digunakan untuk akselerasi kendaraan untuk mendapatkan kecepatan tinggi. Torsi merupakan perkalian antara gaya tangensial dengan panjang lengan. Rumus untuk menghitung torsi pada *engine* adalah sebagai berikut :

$$Torsi = F.R (N.m) \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana:

F = gaya tangensial (N)

R = panjang lengan dynamometer (m)

**2.8.2 Daya (BHP)**

Tujuan dari pengoperasian mesin adalah untuk menghasilkan daya atau *power*. *Brake horse power* merupakan daya yang dihasilkan dari poros *output* mesin yang dihitung berdasarkan laju kerja tiap satuan waktu. Nilai daya sebanding dengan gaya yang dihasilkan dan kecepatan linearnya atau sebanding dengan torsi poros dan kecepatan sudutnya. Untuk menghitung daya motor digunakan perumusan:

$$bhp = \omega.T = 2.\pi.n.T \text{ (Watt)}$$

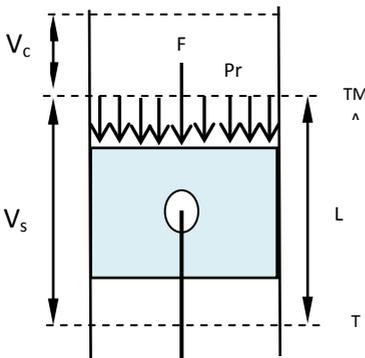
$$bhp = 2.\pi.n.T \text{ (Watt)} / 1000 \text{ (kW)} \dots\dots\dots(2.7)$$

dimana :

T = Torsi (N.m)

n = putaran poros dynamometer (rps)

**2.8.3 Tekanan efektif rata-rata (*Brake Mean Effectif Pressure*)**



Tekanan efektif rata-rata atau (*bmep*) didefinisikan sebagai tekanan tetap rata-rata teoritis yang bekerja sepanjang *volume* langkah piston bekerja sehingga menghasilkan daya. Jika tekanan efektif rata-rata dihitung berdasarkan pada *brake horse power* maka disebut *brake mean effective*

*pressure*.Gaya yang bekerja mendorong piston ke bawah :

$$F = P_r A$$

Kerja selama piston bergerak dari TMA ke TMB :

$$W = F \cdot L = (P_r A) L$$

Daya motor (kerja persatuan waktu) :

Jika poros engkol berputar  $n$  rps, maka dalam 1 detik akan terjadi

$\frac{n}{z}$  siklus kerja.

dimana  $\frac{n}{z} \left( \frac{\text{siklus}}{\text{sekon}} \right)$  ;  $z = 1$  (2 langkah),  $2$  (4 langkah).

Daya tiap silinder 
$$: N = \frac{\text{Pr} \cdot A \cdot L \cdot n}{z}$$

Daya motor sejumlah “ $i$ ” silinder 
$$: N = \frac{\text{Pr} \cdot A \cdot L \cdot n \cdot i}{z}$$

Jika  $N = \text{Watt}$  dan  $P_r = \text{bmep}$ , maka :

$$\text{Bmep} = ( \text{bhp} \times z ) / A \times L \times n \times i \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

- $\text{bhp}$  = daya motor (Watt)
- $A$  = Luas penampang torak ( $\text{m}^2$ )
- $L$  = Panjang langkah torak (m)

**2.8.4 Konsumsi bahan bakar spesifik (*specific fuel consumption*)**

Konsumsi Bahan Bakar Spesifik merupakan ukuran pemakaian bahan bakar oleh suatu *engine* yang diukur dalam satuan massa bahan bakar per satuan keluaran daya, atau dapat didefinisikan sebagai laju aliran bahan bakar digunakan oleh motor untuk menghasilkan kerja.

Besarnya *Specific Fuel Consumption* dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{Sfc} = \dot{m}_{\text{bb}} / \text{bhp} \dots\dots\dots(2.9)$$

dimana:

- $\dot{m}_{\text{bb}}$  = laju aliran massa bahan bakar , kg/s
- $\text{bhp}$  = daya motor, Watt

Pada pengujian standar, massa bahan bakar dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$m_{bb} = \rho_{bensin} \cdot \text{Volume} \dots\dots\dots(2.10)$$

dimana:

$$\rho_{bensin} = SG_{bensin} \cdot \rho_{H2O} \text{. ( dalam kg /m}^3 \text{)}$$

$$\text{Volume} = (\text{m}^3)$$

### 2.8.5 Efisiensi Thermal ( $\eta_{th}$ )

Effisiensi thermal adalah ukuran besarnya pemanfaatan energi panas dari bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif oleh motor.

$$\eta_{th} = \frac{\text{Energi yang berguna}}{\text{Energi yang diberikan}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.11)$$

Jika masing-masing dibagi dengan waktu, t maka:

$$\eta_{th} = \frac{\text{kerja} / \text{waktu}}{\left( \frac{\text{panas yang diberikan} / \text{waktu}}{\text{waktu}} \right)} \times 100 \dots\dots(2.12)$$

Dimana :

$$\text{kerja} / \text{waktu} = \text{daya (bhp)}$$

$$\text{panas yang diberikan} / \text{waktu} = \text{nilai kalor} \times \text{massa bahan bakar} \\ (Q \times \square)$$

$$\eta_{th} = \frac{bhp}{Q \cdot \dot{m}_{bb}} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana:

$$sfc = \text{konsumsi bahan bakar spesifik (kg/Watt . s)}$$

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

$$Q = \text{nilai kalor bawah dari bahan bakar yang digunakan} \\ (\text{J/kg})$$

Untuk bahan bakar *engine* OTTO :

$$\text{NKB} = ( 16610 + 40 ( \text{ }^\circ\text{API} ) ) 0.55556 \dots\dots ( \text{kKal} / \text{kg} ) \dots\dots(2.14)$$

$^\circ\text{API}$  : Gravity adalah suatu bilangan yang menyatakan *density* dari suatu cairan.

Api gravity diukur pada temperatur minyak bumi  $60^\circ\text{F}$ . Harga API dapat dihitung sbb :

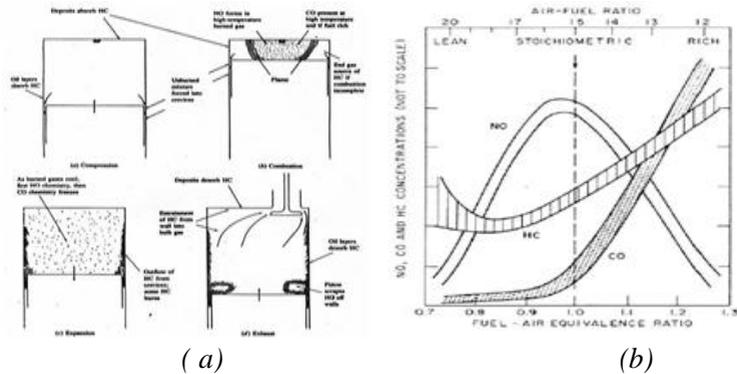
$$^{\circ}API \text{ gravity} = \left( \frac{141.5}{\text{Specific gravity pada } 60^{\circ}F} \right) - 131.5 \dots (2.15)$$

Dimana : *specific gravity* untuk bahan bakar motor bensin adalah 0,73.

Karakteristik untuk mesin SIE otomotif putaran stasioner akan berbeda dengan karakteristik untuk mesin SIE otomotif kecepatan berubah. Secara rumusan, daya kuda, torsi dan tekanan efektif rata-rata *engine* dengan putaran tetap merupakan garis lurus, karena hasil formulanya pangkat satu artinya linear. Disisi lain untuk *sfc* dan efisiensi memiliki grafik yang sama dengan unjuk kerja mesin SIE otomotif kecepatan berubah.

## 2.9 Polusi Udara

Polusi udara adalah masuknya bahan-bahan pencemar kedalam udara sehingga mengakibatkan kualitas udara menurun dan tidak berfungsi sebagaimana mestinya (UUPLH No.23/1997 pasal 1). Polutan primer adalah polutan dimana keberadaannya di udara langsung dari sumbernya. Contoh : partikulat, Sulfur Oksida (SO<sub>x</sub>), Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>), Hidrokarbon (HC), dan Karbon Monoksida (CO). Sedangkan polutan sekunder adalah polutan primer yang bereaksi dengan komponen lain diudara, contohnya Ozon (O<sub>3</sub>) dan *Peroksi Asetil Nitrat* (PAN) dimana keduanya terbentuk di atmosfer melalui proses hidrolisis, petrochemical atau oksidasi [17].



Gambar 2.9 (a) Mekanisme terbentuknya polutan (b) Emisi gas buang vs FAR

Dari kedua jenis polutan di atas yang sering jadi perhatian adalah polutan primer, meskipun polutan sekunder tidak bisa dianggap ringan. Berikut ini adalah penjelasan tentang beberapa polutan primer.

### 2.9.1 unburned Hidrokarbon (uHC)

Hidrokarbon terjadi dari bahan bakar yang tidak terbakar langsung keluar menjadi gas mentah, dan dari bahan bakar terpecah menjadi reaksi panas berubah menjadi gugusan HC yang lain, yang keluar bersama gas buang. Sebab-sebab terjadinya hidrokarbon (HC) adalah karena tidak mampu melakukan pembakaran, penyimpanan dan berupa pelepasan bahan bakar dengan lapisan minyak, penyalaan yang tertunda, disekitar dinding ruang bakar yang memiliki temperatur rendah dan karena adanya *overlap valve*, sehingga HC dapat keluar saluran pembuangan.

Polutan *unburned hydrocarbon* berasal dari beberapa sumber yang berbeda. Terdapat empat kemungkinan penyebab terbentuknya HC pada engine SI sebagai berikut :

#### 1. HC dalam volume *crevice*

Volume *crevice* adalah volume dengan celah yang sangat sempit sehingga api tidak dapat menjangkaunya yang

merupakan sumber utama munculnya HC dalam gas buang. Volume *crevice* yang paling utama adalah volume diantara piston, ring piston, dinding silinder, pusat elektroda busi, dan *crevice* disekitar gasket silinder head.

2. Proses *flame quenching* pada dinding ruang bakar.  
Api akan padam ketika menyentuh dinding ruang bakar karena *heat loss (wall quenching)*, sehingga meninggalkan lapisan tipis yang terdiri dari campuran yang tidak terbakar dan terbakar sebagian.
3. Penyerapan uap bahan bakar kedalam lapisan oli pada dinding ruang bakar.  
Selama proses pengisian dan kompresi, uap bahan bakar diserap oleh oli pada dinding ruang bakar, selanjutnya melepas-kannya kembali ke ruang bakar selama ekspansi dan pembuangan.
4. Pembakaran yang tidak sempurna  
Terjadi ketika kualitas pembakaran jelek baik terbakar sebagian (*partial burning*) atau tidak terbakar sama sekali (*complete misfire*) akibat homogenitas, turbulensi, A/F dan *spark timing* yang tidak memadai. Saat tekanan silinder turun selama langkah ekspansi, temperatur *unburned mixture* didepan muka api menurun, menyebabkan laju pembakaran menurun. Karena temperatur *unburned* didepan muka api yang terlalu rendah maka menyebabkan api padam sehingga nilai HC akan naik.

### 2.9.2 Karbon Monoksida (CO)

Gas karbon monoksida merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau pada suhu diatas titik didihnya dan mudah larut dalam air. Di industri, karbon monoksida dihasilkan dari proses oksidasi gas alam yaitu metana. Gas karbon monoksida merupakan komponen utama dalam udara tercemar, karena kereaktifan gas karbon monoksida terhadap hemoglobin dalam darah yang mengakibatkan darah kekurangan oksigen dan menyebabkan gangguan saraf pusat. Pembakaran yang normal

pada motor bensin akan membakar semua hidrogen dan oksigen yang terkandung dalam campuran udara dan bahan bakar. Akan tetapi dalam pembakaran yang tidak normal, misalnya pembakaran yang kekurangan oksigen, akan mengakibatkan CO yang berada didalam bahan bakar tidak terbakar dan keluar bersama-sama dengan gas buang. Karbon monoksida juga cenderung cenderung timbul pada temperatur pembakaran yang tinggi. Meskipun pada campuran miskin (mempunyai cukup oksigen) jika temperatur pembakaran terlalu tinggi, maka oksigen yang telah terbentuk dalam karbon dioksida bisa beroksidasi membentuk karbon monoksida dan oksigen.

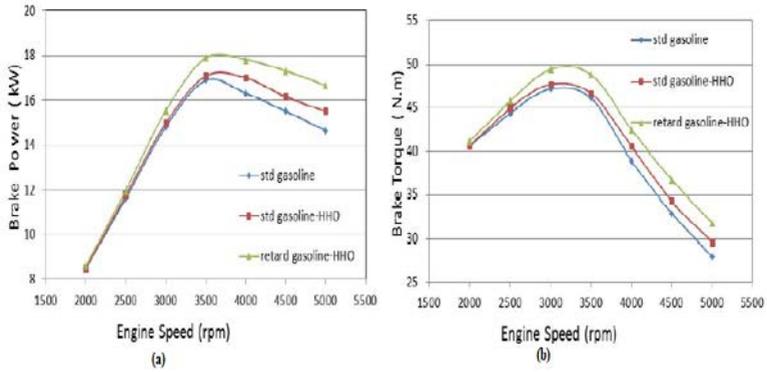
### 2.9.3 NO<sub>x</sub>

Diantaranya berbagai jenis oksida nitrogen yang ada diudara, nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) merupakan gas yang paling beracun. Percobaan pada manusia menyatakan bahwa kadar NO<sub>2</sub> sebesar 250 µg/m<sup>3</sup> dan 500 µg/m<sup>3</sup> dapat mengganggu fungsi saluran pernafasan pada penderita asma dan orang sehat.

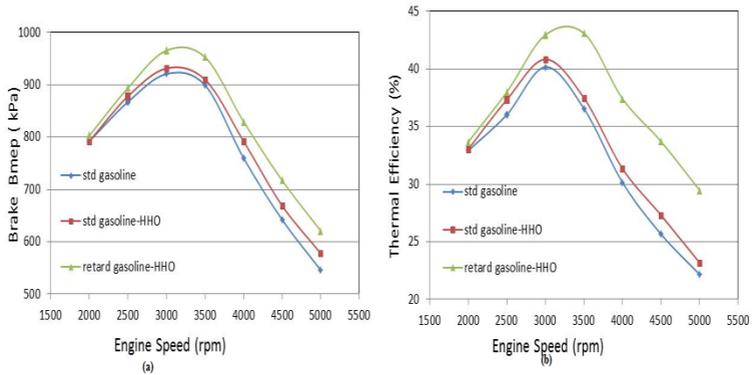
## 2.10 Penelitian Terdahulu

Pada sub bab ini akan dijelaskan beberapa hasil penelitian-penelitian terdahulu pengaruh penambahan gas HHO pada mesin bensin yang dijadikan dasar pertimbangan dalam melakukan penelitian tugas akhir ini, antara lain:

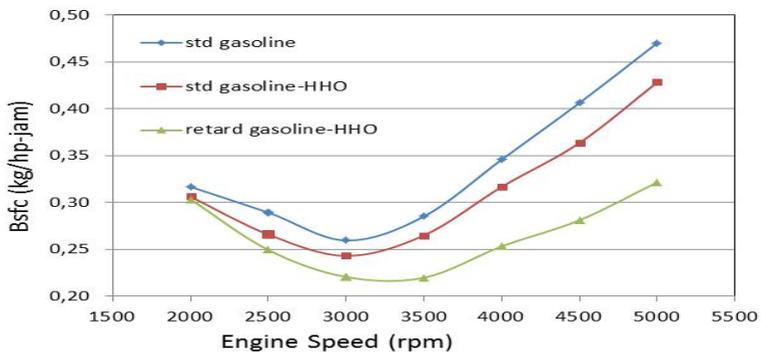
**1.Sudarmanta [18]**, penelitian yang dilakukan secara eksperimental aplikasi generator gas HHO *dry cell* dengan menggunakan PWM terhadap performa *engine* pada Mesin Sinjai, dengan memvariasikan kondisi standar, standar ditambahi gas HHO, dan pengaturan waktu pengapian dengan memundurkan waktu pengapian dari normal 12°-18° ke 12°-15° sebelum TMA, didapatkan hasil berupa, peningkatan performa maksimal ketika memundurkan sudut pengapian:torsi 6.55%, daya 7,65%, efisiensi thermal 15,50 % dan BSFC 22,06% terlihat pada gambar 2.10, 2.11, dan 2.12.



**Gambar 2.10** Grafik (a) Brake Power vs Putaran mesin (b) Grafik torsi vs Putaran mesin.

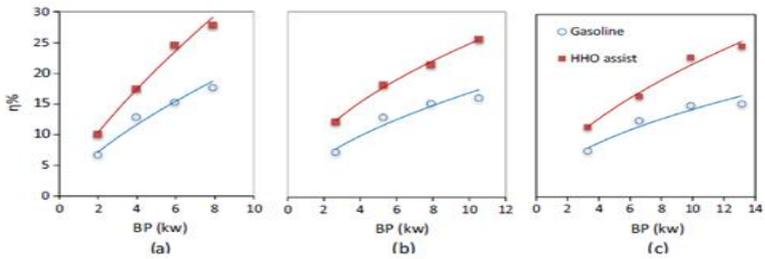


**Gambar 2.11** Grafik (a) BMEP vs Putaran mesin (b) Efisiensi thermal vs Putaran mesin

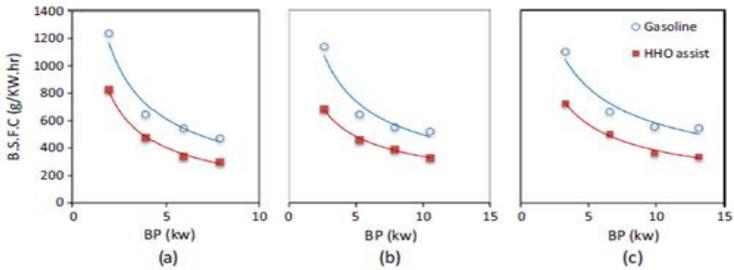


Gambar 2.12 Grafik BSFC vs Putaran Mesin

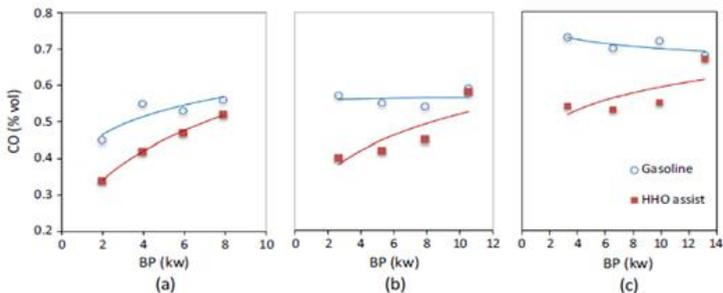
2. **El-Kassaby [19]**, penelitian yang dilakukan secara eksperimental berupa dampak penambahan gas HHO pada mesin bensin terhadap unjuk kerja dan emisi gas buang, penelitian dilakukan pada mesin Skoda Felicia 1.3 GLXI dengan produksi gas HHO maksimum 18 liter per jam menggunakan generator HHO 1 cell 2 plat netral jarak antar plat netrat 1 mm dengan penambahan katalis KOH 6 gram per liter, variasi yang dilakukan berupa bahan bakar bensin dan bensin yang ditambahi gas HHO terhadap fungsi putaran, didapatkan hasil berupa peningkatan efisiensi thermal mesin sebesar 10 % ketika ditambahi gas HHO terlihat pada gambar 2.13, BSFC (konsumsi bahan bakar spesifik) berkurang 34 % pada gambar 2.12, dan konsentrasi emisi gas buang didapatkan berupa  $\text{NO}_x$ , CO, HC berkurang sebanyak 15 %, 18 %, dan 14% pada terlihat pada gambar 2.15 dan 2.16.



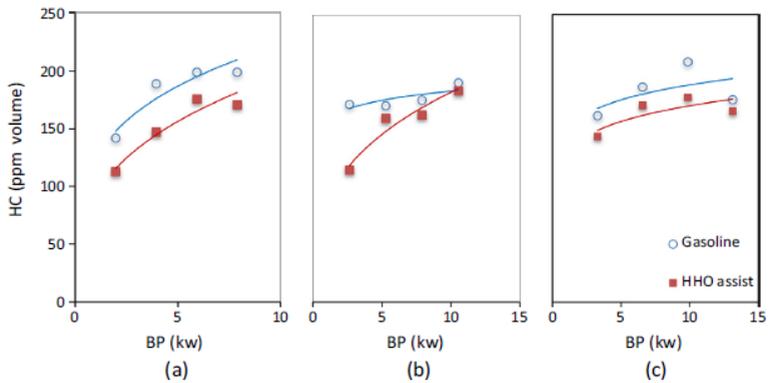
**Gambar 2.13** Grafik efisiensi thermal terhadap fungsi putaran (a) 1500, (b) 2000, (c) 2500 rpm.



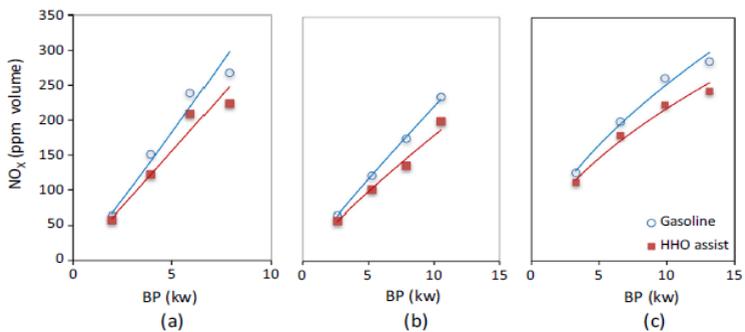
**Gambar 2.14** Grafik BSFC terhadap fungsi putaran (a) 1500, (b) 2000, (c) 2500 rpm.



**Gambar 2.15** Grafik emisi gas buang CO terhadap fungsi putaran (a) 1500, (b) 2000, (c) 2500 rpm.

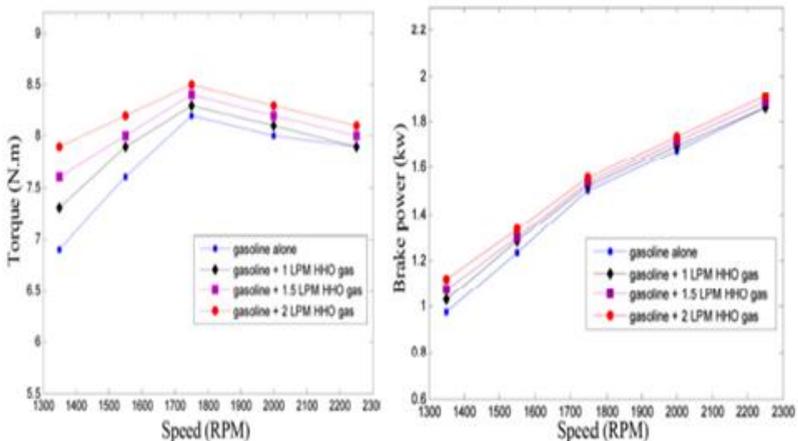


**Gambar 2.16** Grafik emisi gas buang HC terhadap fungsi putaran (a) 1500, (b) 2000, (c) 2500 rpm

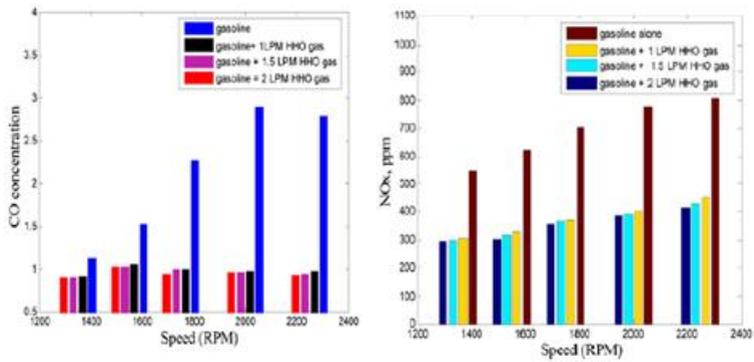


**Gambar 2.17** Grafik emisi gas buang NO<sub>x</sub> terhadap fungsi putaran (a) 1500, (b) 2000, (c) 2500 rpm .

**1.M.Falahat [20]**, penelitian yang dilakukan secara eksperimental pengaruh penambahan gas HHO terhadap performa mesin dengan memvariasikan bensin standar dan bensin yang ditambahi gas HHO 1, 1,5 dan 2 liter permenit terhadap fungsi putaran yang divariasikan 1350 hingga 2250 rpm, di uji pada mesin bensin 4 langkah 1 silinder buatan Honda, didapatkan hasil berupa efisiensi thermal meningkat 23% pada putaran 1350 rpm gambar 2.19, peningkatan torsi dan daya 12.6 % pada putaran 1350 rpm dengan penambahan gas HHO 2 liter per menit terlihat pada gambar 2.18, penurunan konsumsi bahan bakar spesifik maksimum sebesar 16.9 % pada putaran 1350 rpm gambar 2.19, dan penurunan konsumsi bahan bakar spesifik minimumnya 2.9 % pada putaran 1750 rpm dengan penambahan 2 liter per menit gas HHO terlihat pada gambar 2.19, dan konsentrasi gas buang CO dan NO<sub>x</sub> mengalami penurunan signifikan dengan penambahan gas HHO gambar 2.18



**Gambar 2.18** Grafik (a) torsi vs putran mesin (b) daya vs putaran mesin



**Gambar 2.20** Grafik (a) emisi gas buang CO vs putaran (b) NO<sub>x</sub> vs putaran vs BHP.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Prosedur Penelitian**

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini ialah metode eksperimen. Pengujian eksperimen ini dilakukan pada mesin Megapro 150 cc dengan putaran dan sudut pengapian mesin yang divariasikan. Tempat pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar (TPBB) Teknik Mesin ITS, Surabaya. Untuk mendapatkan hasil penelitian yang baik, penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu:

1. Studi literatur mengenai pemakaian dan penggunaan generator gas HHO yang diaplikasikan pada *engine*, dan untuk memundurkan *ignition timing* sudut pengapian kerja motor bakar.
2. Pemeliharaan *engine* Honda Megapro 150 cc, untuk mengembalikan kondisi seperti standar lagi (*service*).
3. Persiapan dan perancangan alat uji *Waterbrake Dynamometer*, untuk motor Honda Megapro 150 cc.
4. Pengujian *engine* Megapro 150 cc dengan alat uji *Waterbrake Dynamometer*, pada bahan bakar standar (premium) sebagai kelompok kontrol, sedangkan kelompok uji adalah pengujian dengan penambahan gas HHO, baik pada pengujian standar maupun pengapian yang dimundurkan  $7^\circ$ ,  $6^\circ$ ,  $5^\circ$  BTDC, pada variasi putaran 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000, dan 8000 rpm.
5. Pengolahan data hasil pengujian untuk mendapatkan Daya, *Bmep*, *Sfc*, dan Effisiensi Thermal.

#### **3.2 Pengujian Unjuk Kerja *Engine***

Pengujian unjuk kerja *engine* ini dilakukan pada engine Honda Megapro 150 cc, pada pengujian bahan bakar standar (premium) sebagai kelompok kontrol, sedangkan kelompok uji dengan penambahan gas HHO, baik pada pengujian standar maupun dengan pengapian yang dimundurkan  $7^\circ$ ,  $6^\circ$ ,  $5^\circ$  BTDC.

Sebelum pemberian variasi, terlebih dahulu mencari *ignation timing* yang tepat pada mesin Honda Megapro 150 cc. Pengujian ini dilakukan pada putaran 2000 hingga 8000 rpm dengan interval 1000 rpm. Adapun pengujian ini meliputi :

### **3.2.1 Persiapan Pemasangan Instalasi Generator Gas HHO Pada Engine**

Adapun tahapan dari tahapan pengujian ini adalah sebagai berikut :

1. Menyaipakan alat-alat yang dibutuhkan yaitu, generator HHO *dry cell, watertank*, bubler, dan slang untuk menyalurkan gas HHO.
2. Pemasangan instalasi dan kelistrikannya pemasukan gas HHO pada *engine* sesuai gambar 3.4
3. Pengecekan terhadap kualitas alat ukuryang ada.
4. Pastikan instalasi terpasang dengan benar.

### **3.2.2 Persiapan Pengujian Pada Engine**

Adapun tahapan dari tahapan pengujian ini adalah sebagai berikut :

1. Melakukan pemeriksaan terhadap kondisi fisik mesin, minyak pelumas, sistem pendinginan, sistem pemasukan bahan bakar, dan sistem kelistrikannya.
2. Memeriksa kondisi kelayakan alat uji *Waterbrake Dynamometer*.
3. Memeriksa kondisi kelayakan alat uji *Gas analyzer* dan tabung konsumsi bahan bakar.
4. Pengecekan terhadap kualitas alat ukur tambahan diantaranya: tachometer, stopwatch dan *pitot static tube*.
5. Mempersiapkan alat tulis dan tabel untuk pengambilan data.

### **3.2.3 Pengujian Engine Pada Kondisi Standar Berbahan Bakar Premium.**

Percobaan ini dilakukan pada putaran mesin yang bervariasi (*variable speed*) mulai dari putaran 2000 rpm hingga

8000 rpm, interval 1000 rpm. Pengaturan putaran mesin dilakukan melalui pembebanan mekanis pada poros *Waterbrake Dynamometer* yang terkopel dengan poros roller yang digerakkan oleh ban belakang sepeda motor Honda Megapro 150 cc. Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan selama pengujian mesin kondisi standar :

1. Menghidupkan mesin Honda Megapro 150 cc, pada putaran idle ( $\pm 1600$  rpm) selama 10 menit untuk mencapai kondisi *steady state* atau stasioner.
2. Blower dihidupkan.
3. Menjalankan mesin dengan menyertakan penambahan gigi transmisi 1-2-3-4-5, kemudian buka katup kupu-kupu hingga terbuka penuh (*full open throttle*). Pada kondisi ini putaran mesin sebesar 8500 rpm dan merupakan putaran maksimum dari mesin Honda Megapro 150 cc. Selama putaran maksimum, tidak dilakukan pembebanan pada *Waterbrake Dynamometer*.
4. Pemberian beban *Waterbrake Dynamometer* sehingga putaran mesin berada pada 2000 rpm untuk kemudian dilakukan pengambilan data untuk tiap kelipatan 1000 rpm hingga putaran terakhir 8000 rpm.
5. Jika putaran mesin sudah stabil maka pencatatan data dapat dilakukan meliputi data putaran poros *Waterbrake Dynamometer* (rpm), torsi (Lbf.ft), waktu konsumsi 25 ml bahan bakar premium (sekon), emisi CO (% volume), , emisi CO<sub>2</sub> (% volume), emisi HC (ppm volume), lamda ( $\lambda$ ), temperatur gas buang (°C), temperatur head (°C), dan temperatur oli (°C).

### **3.2.4 Pengujian Engine (Pengapian Standar) dengan menggunakan bahan bakar Premium dengan penambahan gas HHO.**

Percobaan ini dilakukan pada putaran mesin yang bervariasi (*variable speed*) mulai dari putaran 2000 rpm hingga 8000 rpm. Pengaturan putaran mesin dilakukan melalui

pembebanan mekanis pada poros *Waterbrake Dynamometer* yang terkopel dengan poros roller yang digerakkan oleh ban belakang sepeda motor Honda Megapro 150 cc, Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan selama pengujian mesin kondisi standar :

1. Memastikan kembali kondisi kesiapan mesin, baik dari kondisi fisik, sistem kelistrikan, sistem pendingin, sistem pemasukan udara dan bahan bakar, sistem pengapian, dan kondisi alat ukur.
2. Memasang instalasi pemasukan gas HHO dan juga sistem kelistrikan pada mesin. Sabungkan pada saluran venturi *intake manifold* mesin.
3. Pastikan instalasi dan sistem kelistrikan terpasang dengan benar.
4. Hidupkan generator gas HHO sampai produksi gas stabil, sesuai nilai yang ditentukan dalam pengujian.
5. Menghidupkan mesin Honda Megapro 150 cc pada putaran idle ( $\pm 1600$  rpm) selama 10 menit untuk mencapai kondisi *steady state* atau stasioner.
6. Blower dihidupkan.
7. Menjalankan mesin dengan menyertakan penambahan gigi transmisi 1-2-3-4-5, kemudian buka katup kupu-kupu hingga terbuka penuh (*full open throttle*). Pada kondisi ini putaran mesin sebesar 8500 rpm dan merupakan putaran maksimum dari mesin Honda Megapro 150 cc. Selama putaran maksimum, tidak dilakukan pembebanan pada *Waterbrake Dynamometer*.
8. Pembebanan *Waterbrake Dynamometer* sehingga putaran mesin berada pada 2000 rpm untuk kemudian dilakukan pengambilan data untuk tiap kelipatan 1000 rpm hingga putaran terakhir 8000 rpm.
9. Jika putaran mesin sudah stabil maka pencatatan data dapat dilakukan meliputi data putaran poros *Waterbrake Dynamometer*(rpm), torsi (Lbf.ft), waktu konsumsi 25 ml bahan bakar premium (sekon), emisi CO (% volume), ,

emisi CO<sub>2</sub> (% volume), emisi HC (ppm volume), lamda ( $\lambda$ ), temperatur gas buang (°C), temperatur head (°C), dan temperatur oli (°C).

10. Pada setiap tahap kenaikan putaran mesin dilakukan pencatatan data seperti pada poin 5 (lima). Dan harus diingat bahwa pencatatan data dilakukan pada saat putaran mesin dalam kondisi stabil.

### **3.2.5 Pengujian *Engine* Berbahan Bakar Premium dan Gas HHO dengan memundurkan *timing* pengapian 7°, 6°, 5° BTDC.**

1. Memastikan kembali kondisi kesiapan mesin, baik dari kondisi fisik, sistem kelistrikan, sistem pendingin, sistem pemasukan udara dan bahan bakar, sistem pengapian, dan kondisi alat ukur.
2. Memasang instalasi pemasukan gas HHO dan sistem kelistrikan mesin.
3. Pastikan instalasi dan sistem kelistrikan terpasang dengan benar.
4. Hidupkan generator gas HHO sampai produksi gas stabil sesuai nilai yang ditentukan dalam pengujian.
5. Menggeser posisi pulser (memundurkan *ignation timing*) dari 8° ke 7° BTDC ke arah putaran magnet.
6. Menghidupkan mesin selama 10 menit pada putaran idle agar kondisi mesin stasioner (*steady state*) sebelum pengujian dimulai.
7. Ketika kondisi mesin stasioner, periksa waktu pengapian dengan Timing Led.
8. Blower dihidupkan.
9. Menjalankan mesin dengan menyertakan penambahan gigi transmisi 1-2-3-4-5, kemudian buka katup kupu-kupu hingga terbuka penuh (*full open throttle*). Pada kondisi ini putaran mesin sebesar 8500 rpm dan merupakan putaran maksimum dari mesin Honda Megapro 150 cc. Selama

putaran maksimum, tidak dilakukan pembebanan pada *Waterbrake Dynamometer*.

10. Pembebanan *Waterbrake Dynamometer* sehingga putaran mesin berada pada 2000 rpm untuk kemudian dilakukan pengambilan data untuk tiap kelipatan 1000 rpm hingga putaran terakhir 8000 rpm.
11. Jika putaran mesin sudah stabil maka pencatatan data dapat dilakukan meliputi data putaran mesin (rpm), torsi (Lbf.ft), waktu konsumsi 25 ml bahan bakar premium (sekon), emisi CO (% volume), emisi CO<sub>2</sub> (% volume), emisi HC (ppm volume), lamda ( $\lambda$ ), temperatur gas buang (°C), temperatur head (°C), dan temperatur oli (°C).
12. Pada setiap tahap kenaikan putaran mesin dilakukan pencatatan data seperti pada poin 9 (sembilan). Dan harus diingat bahwa pencatatan data dilakukan pada saat putaran mesin dalam kondisi stabil.
13. Ulangi langkah 3- 9 untuk variasi retard 6° dan 5° BTDC.

### 3.2.6 Akhir pengujian

1. Pengujian berakhir setelah semua data dicatat.
2. Setelah pengujian selesai, pembebanan pada *Waterbrake Dynamometer* diturunkan secara perlahan-lahan.
3. Putaran mesin diturunkan hingga kondisi idle (1600± rpm).
4. Pada saat putaran idle, mesin dibiarkan sekitar lima menit sebelum dimatikan. Setelah itu mesin dapat dimatikan.

### 3.3 Spesifikasi Alat Uji

Dalam pengujian ini mesin yang digunakan yaitu Honda Megapro 150 cc buatan tahun 2013, dengan sistem pemasukan bahan bakar menggunakan karburator, mekanisme camshaft menggunakan SOHC (*single overhead camshaft*), dan memiliki diameter piston dan panjang langkah sebesar 57,3 dan 57,8 mm artinya langkah piston lebih panjang, dengan spesifikasi seperti berikut :

### 3.3.1 Engine



**Gambar 3.1** Sepeda motor Honda Megapro 150 cc.

- **Mesin:**
  - Tipe mesin : 4 langkah, OHC, pendinginan udara
  - Volume langkah : 149,2 cc
  - Sistem pendingin : pendingin udara
  - Sistem suplai bahan bakar : karburator
  - Diameter x langkah (mm) : 57,3 x 57,8 mm
  - Tipe transmisi : 5 kecepatan
  - Rasio kompresi : 9,5 : 1
  - Daya maksimum : 10,1 Kw/ 8.500 rpm
  - Torsi maksimum : 12,8 Nm/ 6.500 rpm
  - Katup in membuka : 5°BTDC ( pada pengangkatan 1,00 mm)
  - Katup in menutup : 40°ABDC ( pada pengangkatan 1,00 mm)
  - Katup exhaust membuka : 30°ABDC ( pada pengangkatan 1,00 mm)

- Katup exhaust menutup : 10° BTDC ( pada pengangkatan 1,00 mm)
- Waktu pengapian : 8° BTDC
- **Transmisi**
- Pola pengoperasian gigi : 1-N-2-3-4-5
- Tipe transmisi : Manual, 6- Kecepatan.
- Tipe starter : Pedal dan Starter elektrik
- Tipe kopling : manual, multiple wet Clutch
- Kapasitas minyak pelumas : 1 liter pada penggantian periodik
- **Kelistrikan**
- Tipe battery : MF 12 V-5 ah
- Busi : NGK CPR 8EA-9/NGK CPR9E-9
- Pengapian : DC-CDI
- **Kaki-kaki**
- Tipe Suspensi Depan : Teleskopik
- Tipe Suspensi Belakang : Lengan Ayu Dengan Suspensi Tunggal (Sistem Pro-Link)
- Ukuran Ban Depan : 100/80-17 52P (Tubeless)
- Ukuran Ban Belakang : 130/70-17 62P (Tubeless)
- **Pengereman**
- Tipe Rem Depan : Cakram Hidrolik
- Tipe Rem Belakang : Cakram Hidrolik

### 3.3.2 Alat Uji

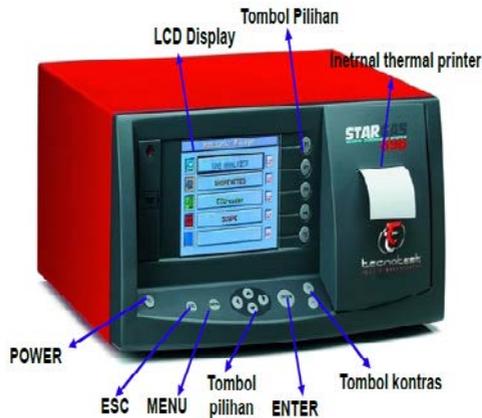
Alat pengujian menggunakan *Waterbrake Dynamometer*:



Gambar 3.2 *Waterbrake Roller Chassis Dynamometer*

- Merk : *DYNomite Land Sea*
- Ukuran : 7" single rotor absorber
- Kebutuhan air : Minimum 1 G.P.M
- Kemampuan air : Pengukuran sampai 20 Hp

Adapun alat pendukung untuk penelitian ini, yaitu seperti pada gambar berikut :



(a)

Alat ini digunakan untuk mengukur kadar emisi gas buang, meliputi : CO, HC, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, dan O<sub>2</sub> Seperti terlihat pada gambar (a) diatas.

Spesifikasi alat:

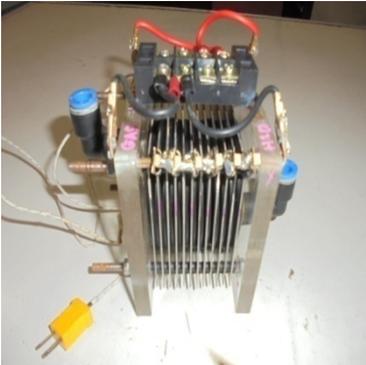
- ✓ Merk : Stargas 898
- ✓ *Measurement Range* : CO: 0-15% Vol, CO<sub>2</sub>: 0-20% Vol, HC: 0-30.000 ppmVol, O<sub>2</sub> : 0-25% Vol, NO<sub>x</sub>: 0-5000 ppm Vol.
- ✓ Berat : 7.5 Kg
- ✓ Temperatur Kerja : 40-45 degree Celcius
- ✓ Dimensi : 470 x 230 x 220 mm



(b)

(c)

(d)



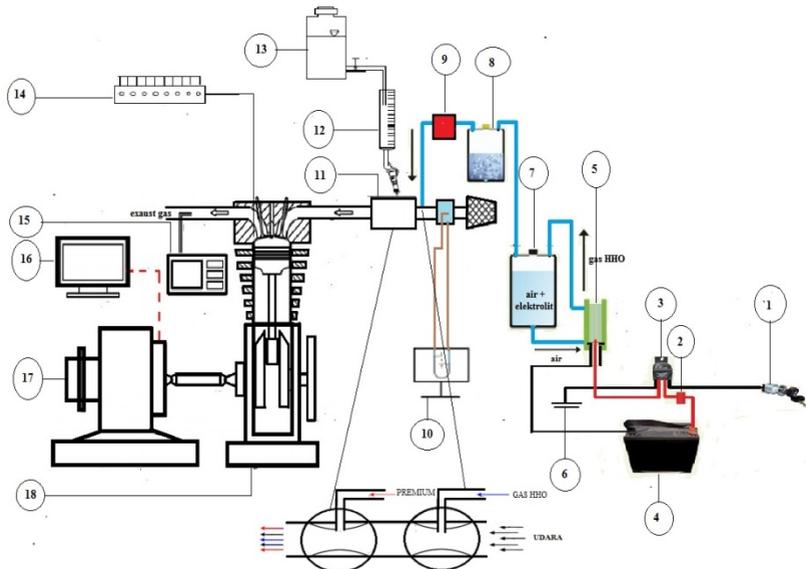
(f)



(g)

*Gambar 3.3 (a) Exhaust gas analyzer, (b) Blower, (c) Stopwatch, (d) Gelas ukur, (e) Generator HHO dry cell, (g) water trap (Bubler)*

### 3.4 Instalasi Pengujian dan Pemasukan Gas HHO Pada Engine

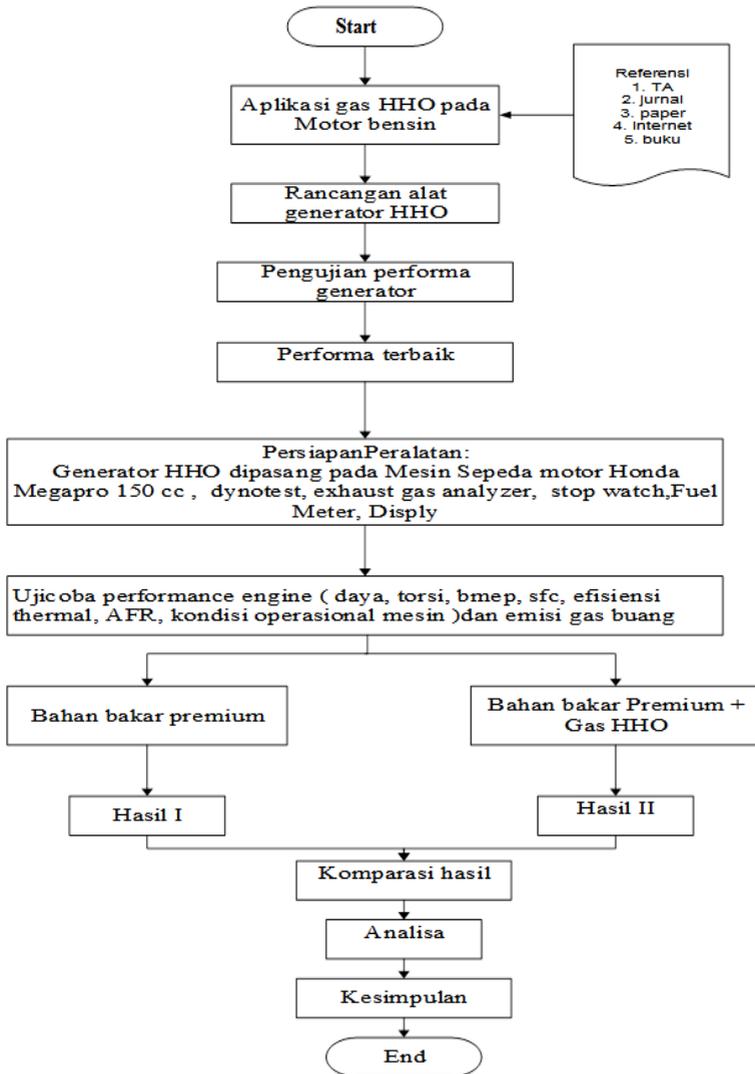


**Gambar 3.4** Instalasi pemasukan Gas HHO pada mesin

Keterangan :

- |                                       |                            |
|---------------------------------------|----------------------------|
| 1. Kunci kontak                       | 13. Tangki Bahan Bakar     |
| 2. Fuse                               | 14. Termocopel             |
| 3. Relay                              | 15. Gas Analyzer           |
| 4. Aki 12 V                           | 16. Display load Cell      |
| 5. Generator HHO                      | 17. Waterbrake Dynamometer |
| 6. Ground                             | 18. Engine Megapro 150 cc  |
| 7. Watertank                          |                            |
| 8. Bubler                             |                            |
| 9. Flow meter                         |                            |
| 10. Manometer U                       |                            |
| 11. Karburator                        |                            |
| 12. Tabung Konsumsi Bahan Bakar 25 ml |                            |

### 3.5 Flowchart Penelitian



Gambar 3.5 Flowchart Penelitian

### 3.6 Parameter Yang Diukur

Pada penelitian ini ditetapkan beberapa parameter input dan output sehingga hasil dari penelitian diharapkan sesuai dengan yang diharapkan. Adapun beberapa rancangan metode dan parameter yang diukur akan disajikan dalam tabel berikut.

**Tabel 3.1 Rancangan Parameter Yang Diukur**

Parameter input		Parameter output	
konstan	Berubah	Diukur	Dihitung
1. Udara Masuk	• waktu pengapian 7°, 6°, 5° BTDC.	• Putaran mesin (Rpm)	• Daya (KW)
2. Bahan Bakar premium	• Putaran mesin:	• Torsi (N.m)	• BMEP (kPa)
3. Gas HHO	dari 2000 rpm - 8000 rpm , interval 1000 rpm	• Waktu konsumsi bahan bakar 25 ml.	• Efisiensi thermal
		• Emisi gas buang CO, CO <sub>2</sub> , HC.	• SFC
		Temperatur engine (°C)	• Nilai AFR
		Temperatur Exhaust (°C)	• $\dot{m}$ Udara
		Temperatur Oli (°C)	
		• $\dot{m}$ HHO	

Dari penelitian tersebut maka nantinya dapat diperoleh grafik antara lain:

- Grafik antara putaran mesin dengan torsi
- Grafik antara putaran mesin dengan daya
- Grafik antara putaran mesin dengan konsumsi bahan bakar spesifik (SFC)
- Grafik antara putaran mesin dengan efisiensi thermal
- Grafik antara putaran mesin dengan AFR.
- Grafik antara putaran mesin dengan emisi CO
- Grafik antara putaran mesin dengan emisi CO<sub>2</sub>
- Grafik antara putaran mesin dengan emisi HC
- Grafik antara putaran mesin dengan emisi O<sub>2</sub>

*Halaman sengaja dikosongkan*

## BAB IV

### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data Hasil Penelitian Mesin Megapro 150 cc Dengan Metode Eksperimen

Pada bab ini akan dijelaskan tentang penelitian yang telah dilakukan penelitian ini menggunakan Mesin Megapro 150 cc, berbahan bakar gas HHO dan premium dengan system pemasukan gas secara *mixture* yang diinjeksikan pada saluran *intake manifold* yang berbentuk venturi. Parameter yang ditetapkan selama pengambilan data dengan memvariasikan sudut pengapian yang dimundurkan terhadap unjuk kerja mesin. Variasi sudut pengapian yang dilakukan adalah Pengapian standar, retard 7° BTDC, retard 6° BTDC dan retard 5° BTDC.

#### 4.2 Data Hasil Unjuk Kerja Dengan Metode Eksperimen

#### 4.3 Contoh Perhitungan Eksperimen

Tujuan dari perhitungan yang dilakukan ini untuk mengetahui nilai setiap unjuk kerja dari mesin Megapro 150 cc. Dalam penelitian ini ada parameter-parameter yang dihitung dan parameter parameter yang diukur. Parameter-parameter yang dihitung adalah daya efektif (bhp), tekanan efektif rata-rata (bmep), konsumsi bahan bakar spesifik (sfc), efisiensi thermal, dan nilai air fuel ratio (AFR). Sedangkan parameter-parameter yang diukur adalah torsi, waktu konsumsi bahan bakar, emisi gas buang meliputi CO, CO<sub>2</sub>, dan HC. Dalam penelitian ini satuan yang digunakan adalah satuan SI. Untuk contoh perhitungan unjuk kerja digunakan adalah data premium standar pada putaran 5000 rpm. Adapun data yang diukur pada penelitian ini yang merupakan data awal adalah sebagai berikut:

- Torsi = 1,11 kgf.m

- Putaran poros *waterbrake* = 3217 rpm = 53,61 rps
- Waktu konsumsi bahan bakar = 28 s
- Emisi gas buang CO = 0,026 %
- Emisi gas buang HC = 71
- Emisi gas buang CO<sub>2</sub> = 11 %
- Temperatur gas buang = 337
- Temperatur oli = 77
- Temperatur mesin = 157

#### 4.3.1 Perhitungan Torsi

Dari hasil pengujian didapatkan nilai torsi pada saat putaran mesin sebesar 5000 rpm adalah 1,11 kgf.m. Pada penelitian ini, satuan digunakan adalah satuan SI, maka hasil tersebut harus dikonversikan. Konversi yang dilakukan sebagai berikut :

$$T = 1,11 \text{ Kgf.m} \left[ \frac{9,80665 \text{ N}}{1 \text{ kgf}} \right] = 10,904 \text{ N.m}$$

#### 4.3.2 Perhitungan Daya

Daya yang dihasilkan motor pembakaran dalam ada 3 jenis, yaitu *indicative horse power* (ihp), *brake horse power* (bhp), dan *friction horse power* (fhp). Daya yang digunakan dalam perhitungan ini adalah *brake horse power* (bhp). Untuk mendapatkan bhp, digunakan data sebagai berikut:

- ✓ Torsi = 10,904 N.m
- ✓ Putaran poros = 3217 rpm = 53,61 rps

Rumus :

$$\text{Bhp} = 2 \times \pi \times n \times T$$

$$\text{Bhp} = 2 \times 2,14 \times 53,61 \frac{1}{s} \times 10,904 \text{ N.m}$$

$$\text{Bhp} = 3671,469266 \text{ Watt}$$

#### 4.3.3 Perhitungan Tekanan Efektif Rata-Rata (Bmep)

Untuk melakukan perhitungan tekanan efektif rata-rata diperlukan beberapa parameter dari karakteristik mesin. Adapun data-data mesin dan perhitungan tekanan efektif rata-rata adalah sebagai berikut :

Data awal :

- ✓ Diameter piston (D) = 57,3 mm
- ✓ Panjang langkah (L) = 57,8 mm
- ✓ Jumlah silinder (I) = 1
- ✓ Z = 2 (4 langkah)
- ✓ Putaran poros *waterbrake* (n) = 3217 rpm = 53,61 rps

Dari data diameter piston, dapat dicari luas permukaan piston (A),  
Yaitu:

$$A = A = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{3,14}{4} \times (0,0573m)^2 = 2,577 \times 10^{-3} m^2$$

Rumus :

$$Bmep = \frac{bhp \times z}{A \times L \times n \times i}$$

$$bmep = \frac{3671,469266 \text{ Watt} \times 2}{2,577 \cdot 10^{-3} m^2 \times 0,0578 \text{ m} \times 53,61 \frac{1}{s} \times 1}$$

$$bmep = 591488,2706 \text{ Pa}$$

#### 4.3.4 Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar spesifik (sfc)

Data awal :

- Waktu Konsumsi bahan bakar = 35,4 s

Dari data yang ada dan perhitungan yang telah dilakukan diatas. Dapat dihitung konsumsi bahan bakar spesifik dari *engine*.

Rumus yang digunakan :

$$Sfc = \frac{\dot{m}_{bb}}{bhp}$$

Oleh karena itu perlu dihitung pula besarnya laju alir bahan bakar.

$$\dot{m}_{bb} = \frac{\rho_{bensin} \times volume}{waktu}$$

$$\dot{m}_{bb} = \frac{720 \frac{kg}{m^3} \times 25 \times 10^{-6} m^3}{28 s}$$

$$\dot{m}_{bb} = 0,000521186 \text{ kg/s}$$

$$SFC = \frac{\dot{m}_{bb}}{BHP} = \frac{0,000521186 \text{ kg/s}}{3,671 \text{ kWatt}} \times 36000(s)$$

$$= 0,410376858 \text{ kg/Kw.h}$$

### 4.3.5 Perhitungan *Effisiensi Thermal*

Data:

- ✓ Bhp = 5316,1989 Watt
- ✓  $SG_{Premium} = 0,72$
- ✓  $^{\circ}API = \frac{14,5}{0,72} - 131,5 = 65,03$

Lalu melakukan melakukan perhitungan nilai kalor bawah dari bensin

$$NKB = (16610 + 40 (^{\circ}API)) 0,55556$$

$$NKB = (16610 + 40(^{\circ}API))0,55556 \frac{kKal}{kg}$$

$$NKB = 10672,92 \frac{kKal}{kg}$$

$$NKB = 44826280 \frac{J}{kg}$$

$$\eta_{th} = \frac{bhp}{(\dot{m}_{bensin} \times Q_{bensin})} \times 100\%$$

$$\eta_{th} = \frac{5316,1989 \text{ Watt}}{\left( \begin{array}{c} 0,000659251 \frac{\text{kg}}{\text{s}} x \\ 44826280 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \end{array} \right)} x 100\%$$

$$\eta_{th} = 15,70 \%$$

### 4.3.6 Perhitungan Air Fuel Ratio (AFR)

AFR merupakan perbandingan laju aliran udara dan laju aliran bahan bakar. AFR pada pengujian engine dengan menggunakan bahan bakar bensin standar dengan putaran *engine* 5000 rpm didapatkan perhitungan dengan menggunakan rumus :

$$\text{Air/fuel ratio (A/F)} = \frac{\dot{m}_{udara}}{\dot{m}_{bahan\ bakar}}$$

Data yang digunakan untuk menghitung *air fuel ratio* adalah sebagai berikut :

- $\dot{m}_{udara} = 0,0077302 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$
- $\dot{m}_{bensin} = 0,000521186 \text{ kg/s}$

$$\text{AFR} = \frac{0,0077302 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{0,000521186 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}$$

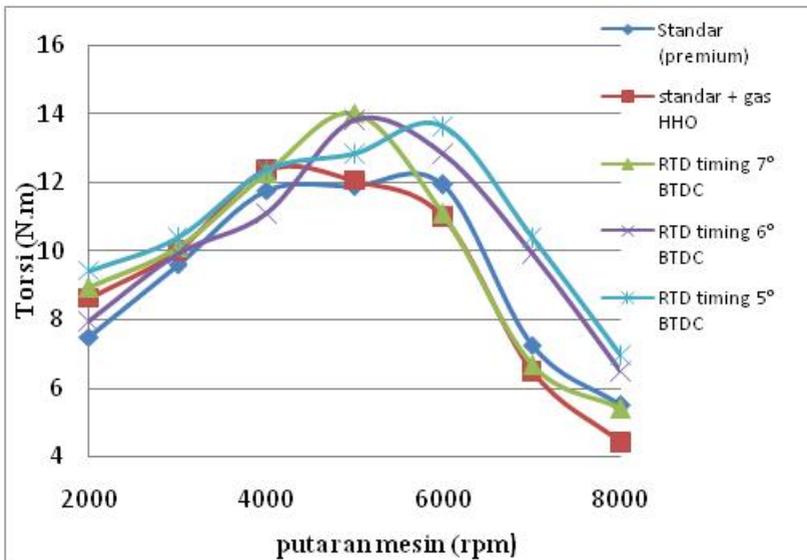
$$\text{AFR} = 14,831928$$

## 4.4 Analisa Unjuk Kerja Engine

### 4.4.1 Analisa Torsi

Dari grafik torsi fungsi putaran, terlihat adanya tren kenaikan torsi mulai dari putaran rendah hingga mencapai torsi maksimum pada putaran tertentu, lalu torsi mengalami penurunan pada putaran yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan semakin tinggi putaran *engine*, maka turbulensi aliran yang masuk ke ruang bakar akan semakin tinggi dan menyebabkan pencampuran udara dan bahan bakar semakin baik serta perambatan api juga semakin cepat sehingga torsi akan semakin meningkat. Setelah

putaran semakin tinggi, maka akan semakin besar kerugian-kerugian yang terjadi diantaranya gesekan dan adanya pembakaran yang kurang sempurna. Semakin cepat putaran *engine* maka friksi yang terjadi juga semakin besar. Selain itu pembakaran campuran bahan bakar dan udara dalam ruang bakar juga memerlukan waktu. Ketika putaran tinggi, maka dimungkinkan pengapian yang terjadi tidak cukup cepat untuk membakar seluruh bahan bakar dalam ruang bakar, atau dengan kata lain semakin banyak sisa bahan bakar yang belum terbakar dalam ruang bakar.



**Gambar 4.1 Grafik torsi fungsi putaran *engine***

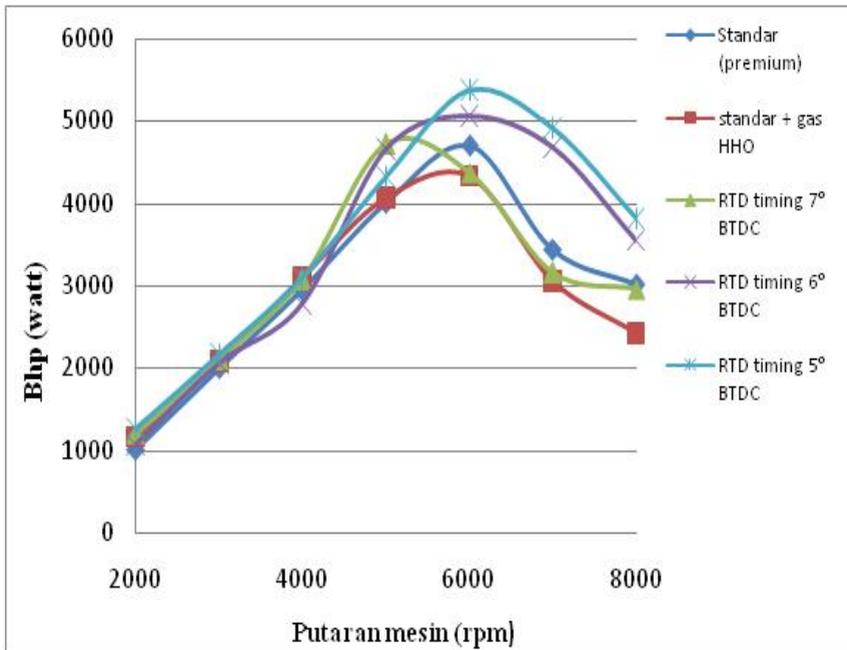
Besarnya torsi berbanding lurus dengan tekanan yang dihasilkan dalam ruang bakar. Apabila tekanannya tinggi maka torsi yang dihasilkan tinggi. Pada gambar 4.2 terlihat bahwa kecenderungan peningkatan torsi seiring dengan meningkatnya kecepatan mesin, dimana torsi mulai bangkit dari kecepatan rendah 2000 rpm dan mencapai torsi maksimum pada putaran

berkisar antara 4000 rpm-6000 rpm dan kemudian mengalami penurunan pada putaran 6500 rpm.

Kecendrungan peningkatan torsi dengan meningkatnya putaran mesin dari 4000 rpm– 6000 rpm dan kemudian cenderung turun pada kisaran 6500 rpm, hal ini disebabkan oleh aliran turbulen ke ruang bakar yang lebih tinggi untuk meningkatkan putaran mesin yang kemudian akan meningkatkan pencampuran udara dengan bahan bakar dan propagasi api. Semenatar itu torsi cenderung turun pada putaran mesin diatas 6500, hal ini disebabkan karena adanya kerugian gesekan, kerugian panas dan proses pembakaran yang tidak sempurna. Pengaruh penambahan gas HHO pada mesin dengan standar waktu pengapian, menghasilkan torsi yang cenderung turun karena *flame speed* dari Hidrogen yang sangat tinggi menyebabkan propagasi api pembakaran semakin cepat sehingga mengaktifkan atomisasi bahan bakar. Dari grafik diatas (gambar 4.1) dengan pengapian yang dimundurkan pada  $6^\circ$  BTDC menunjukkan hasil sebesar 13,827 N.m pada putaran 5000 rpm dengan kenaikan sebesar 13,90% dan pada pengapian yang dimundurkan  $7^\circ$  BTDC menunjukkan hasil sebesar 14,023 N.m pada putaran 5000 rpm dengan rata rata kenaikan sebesar 15,11%.

#### **4.4.2 Analisa Daya Efektif**

Daya yang dihasilkan oleh ,otor pembakaran dalam ada 3 jenis, yaitu *indicative horse power (ihp)*, *brake horse power (bhp)*, dan *friction horse power (fhp)*. Pada putaran rendah, fhp relatif rendah dan akan semakin tinggi ketika putaran mesin semakin tinggi. Secara teoritis, ketika putaran mesin meningkat, maka daya motor juga akan meningkat karena daya merupakan perkalian antara torsi dengan putaran poros.



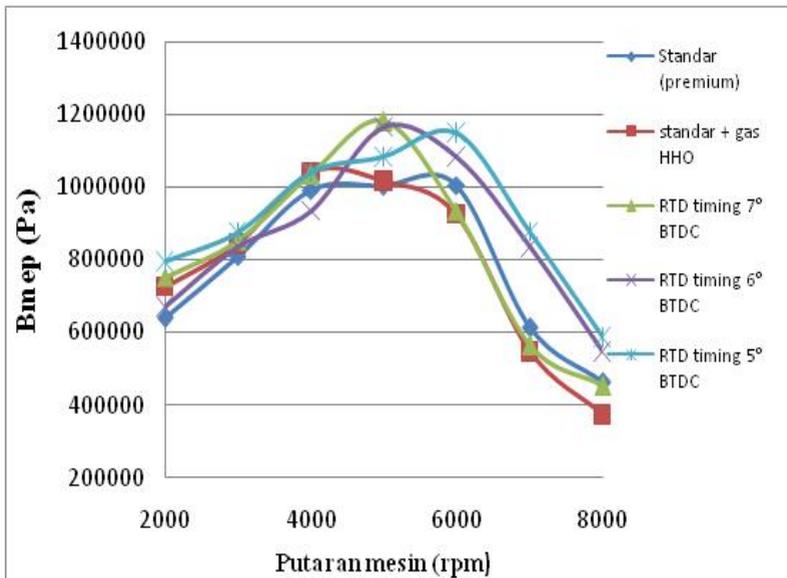
**Gambar 4.2 Grafik daya efektif fungsi rpm engine**

Besarnya tenaga mesin sebanding dengan torsi yang terjadi, karena hal itu berkaitan dengan beban pengereman pada rem air dynamometer yang diatur oleh debit air. Semakin besar beban pengereman pada dynamometer menunjukkan bahwa torsi yang terjadi juga akan meningkat. Gambar 4.3 penambahan gas HHO pada grafik tenaga mesin menunjukkan *trendline* yang sama. Pada gambar 4.3 penambahan gas HHO mengalami kenaikan tenaga maksimum pada putaran 5000 rpm-6500 rpm. Terlihat pada gambar 4.2 pengaruh penambahan gas HHO pada pengapian yang dimundurkan 6° BTDC menunjukkan tenaga mesin sebesar 5063,89056 Watt pada putaran 6000 rpm dengan rata-rata kenaikan sebesar 7,1% dan pada 5° BTDC menunjukkan

tenaga mesin sebesar 3375,848304 Watt pada putaran 6000 rpm dengan kenaikan 12,52% .

#### 4.4.3 Analisa Bmep ( Tekanan efektif rata-rata)

Besarnya tekanan yang dialami piston berubah-ubah sepanjang langkah piston tersebut. Bila diambil tekanan yang berharga konstan yang bekerja pada piston dan menghasilkan kerja yang sama, maka tekanan tersebut tekanan efektif rata-rata piston.



**Gambar 4.3 Grafik Bmep fungsi rpm engine**

Sama seperti *trendline* torsi dan tenaga, besarnya bmep sebanding dengan torsi yang terjadi, karena berhubungan dengan beban pengereman pada rem air dynamometer. Semakin besar beban pengereman pada dynamometer menunjukkan torsi yang terjadi juga akan meningkat. Gambar 4.3 menunjukkan pengaruh penambahan gas HHO pada bmep fungsi rpm hasilnya

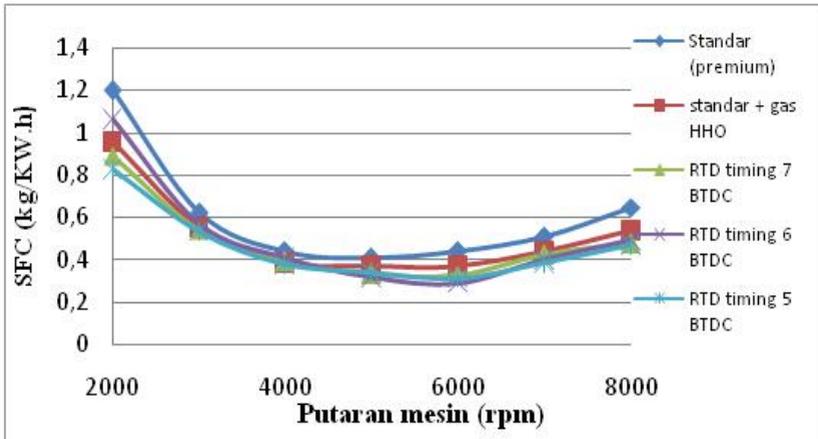
menunjukkan *trendline* yang sama dengan torsi grafik 4.1, penambahan gas HHO menghasilkan tekanan efektif rata-rata maksimum pada putaran 5000-6500 rpm. Pengaruh penambahan gas HHO pada mesin dengan pengapian standar menunjukkan daya yang relatif turun, hal ini disebabkan karena sifat hidrogen yang memiliki *flame speed* yang sangat tinggi, sehingga membakar lebih cepat campuran udara dan bahan bakar, menyebabkan ledakan diruang bakar terjadi lebih cepat dari kondisi standarnya, sehingga dilakukannya pengaturan waktu pengapian.

Terlihat pada grafik 4.3, pada pengapian yang dimundurkan  $7^\circ$  BTDC menunjukkan hasil sebesar 1182284,5 Pa pada putaran 5000 rpm dengan kenaikan sebesar 15,11%. Dan pada pengapian yang dimundurkan  $6^\circ$  BTDC menunjukkan hasil sebesar 1165764,6 Pa pada putaran 5000 rpm dengan kenaikan 13,90%. Hal ini disebabkan karena dengan penambahan gas HHO distribusi pencampuran bahan bakar dan udara lebih merata, atomisasi pembakaran menjadi lebih aktif dan propagasi api yang merambat menjadi lebih cepat dan menyeluruh. Selain itu dengan adanya oksigen pada gas HHO juga efektif membantu proses pencampuran, oksidasi dan pembakaran di ruang bakar.

#### **4.4.4 Analisa Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (sfc)**

Konsumsi bahan bakar spesifik dapat didefinisikan sebagai laju aliran bahan bakar untuk memperoleh daya efektif. Secara umum konsumsi bahan bakar spesifik pada saat putaran mesin rendah ke putaran mesin tinggi akan mengalami penurunan hingga pada putaran mesin tertentu akan meningkat lagi. Hal ini disebabkan semakin tinggi putaran mesin maka turbulensi aliran juga akan semakin besar sehingga membentuk homogenitas campuran bahan bakar dan udara yang lebih baik dan

menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna. Lalu pada putaran mesin yang terlalu tinggi, waktu yang digunakan untuk proses pembakaran akan lebih sedikit yang menyebabkan sebagian bahan bakar tidak terbakar secara sempurna.



**Gambar 4.4 Grafik sfc fungsi rpm engine**

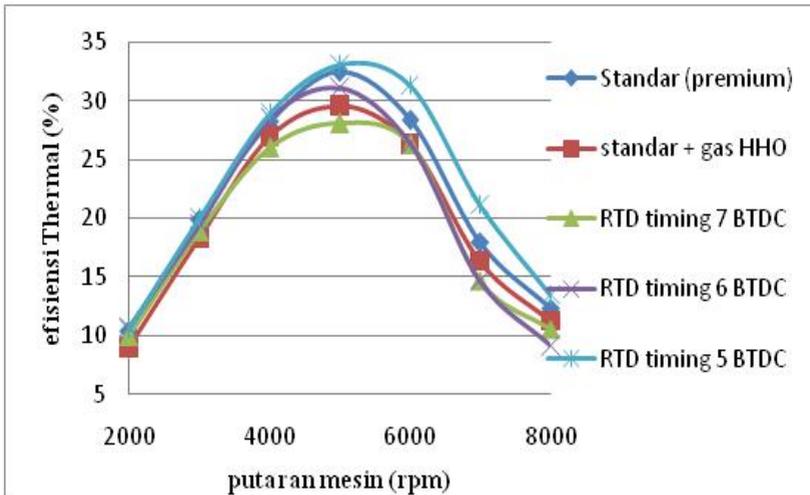
Secara umum konsumsi bahan bakar spesifik dari rpm rendah ke tinggi akan mengalami penurunan hingga pada putaran mesin tertentu akan meningkat lagi. Hal ini disebabkan oleh semakin tingginya turbulensi aliran seiring dengan penambahan putaran, sehingga homogenitas campuran bahan bakar dan udara menjadi lebih baik dan menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna.

Sesuai dengan uraian diatas, sfc sangat dipengaruhi oleh besarnya daya. Pengaturan timing pengapian yang dilakukan dengan memundurkan waktu pengapian menyebabkan puncak terendah dari sfc akan bergeser kekanan. Pada waktu pengapian 8 derajat sebelum TMA, sfc cenderung naik setelah puncak terendah, sedangkan semakin mundur waktu pengapian, grafik sfc turun semakin landai. Fenomena khusus terjadi pada retard ignition timing 6 derajat sebelum TMA, dimana grafik sfc cenderung tidak

homogen yang disebabkan oleh waktu pengapian yang terlalu mundur yang akan menimbulkan indikasi knocking pada mesin. Dengan terjadinya knocking nilai *peak pressure* mengalami penurunan dan berpengaruh terhadap kenaikan nilai sfc seiring dengan penurunan daya efektif.

#### 4.4.5 Analisa Efisiensi Thermal

Efisiensi termal adalah ukuran besarnya pemanfaatan energi panas yang tersimpan dalam bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif oleh motor pembakaran dalam. Nilai efisiensi termal tergantung dari sempurna atau tidaknya campuran udara dan bahan bakar yang terbakar dalam ruang bakar.



**Gambar 4.5 Grafik efisiensi termal fungsi rpm engine**

Pada putaran tinggi, turbulensi yang terjadi cukup besar sehingga pencampuran bahan bakar dan udara baik, tetapi waktu terjadinya pembakaran sangat cepat sehingga bahan bakar banyak yang terbuang. Ketika putaran turun, akan ada saat dimana turbulensi dan waktu pembakaran mencapai kondisi yang terbaik

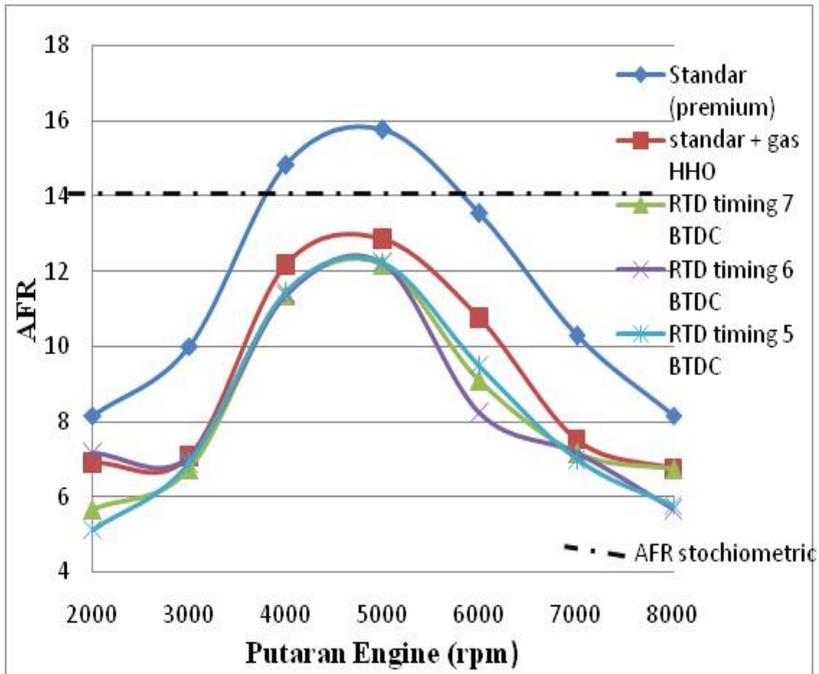
sehingga mendapatkan efisiensi yang paling optimal. Ketika putaran turun lagi, maka pencampuran bahan bakar berlangsung kurang baik, sehingga pemakaran yang terjadi kurang sempurna.

Efisiensi thermal dipengaruhi oleh kualitas udara dan campuran bahan bakar yang dibakar didalam ruang bakar. Terlihat pada gambar 4.5, penambahan gas HHO dapat meningkatkan efisiensi thermal dibandingkan dengan bahan bakar bensin. Pengaruh penambahan gas HHO pada mesin dengan standar waktu pengapian menunjukkan peningkatan rata-rata efisiensi thermal sebesar 3,37 %. Sedangkan mesin dengan waktu pengapian yang dimundurkan cenderung mengalami peningkatan efisiensi thermal yang sangat tinggi dengan rata-rata sebesar 11,08%.

#### **4.4.6 Analisa Air Fuel Ratio (AFR)**

*Air fuel ratio* merupakan ukuran perbandingan antara massa udara dan massa bahan bakar per satuan waktu. Dimana ukuran tersebut akan dibandingkan dengan nilai AFR teoritis (14,7). Bila ukuran tersebut bernilai lebih besar dari AFR teoritisnya, maka campuran bahan bakar dan udara dikategorikan sebagai campuran miskin (*lean*), sebaliknya bila ukuran bernilai lebih kecil dari AFR teoritisnya, maka campuran bahan bakar dan udara dikategorikan ke dalam campuran kaya (*rich*). Pada penelitian kali ini dimana nilai AFR yang akan dihitung adalah pada kondisi standar (premium), dan pada setiap variasi pengapian baik itu pengapian standar dan pengapian yang dimundurkan 7°, 6°, 5° BTDC dengan penambahan gas HHO. Nilai AFR pada setiap variasi sangat dipengaruhi oleh laju aliran gas HHO itu sendiri, terlihat pada gambar 4.6 nilai AFR akan menurun drastis pada putaran menengah keatas artinya campuran

udara dan bahan bakar kaya. Hal ini dipengaruhi oleh laju aliran gas HHO yang sangat besar.



**Gambar 4.6 Grafik AFR fungsi putaran engine**

Dari grafik AFR fungsi rpm untuk bahan bakar premium yang diuji pada kondisi standard, didapatkan *trendline* AFR premium yang cenderung berada diatas AFR *stoichiometric* (14,7), dikarenakan karena laju perbandingan udara lebih besar dibandingkan laju perbandingan bahan bakar sehingga termasuk kepada campuran yang miskin (lean). Karena nilai *heat of vaporization* premium tinggi dibandingkan dengan hidrogen, diperkirakan menurunkan temperatur diruang bakar dan menyebabkan nilai densitas udara naik. Seiring dengan naiknya nilai densitas udara, maka campuran bahan bakar dan udara dalam

proses pembakaran juga cenderung campuran miskin (lean) dan mempengaruhi laju perubahan api diruang bakar. Oleh karena itu perlu dilakukan, pengaturan waktu pengapian.

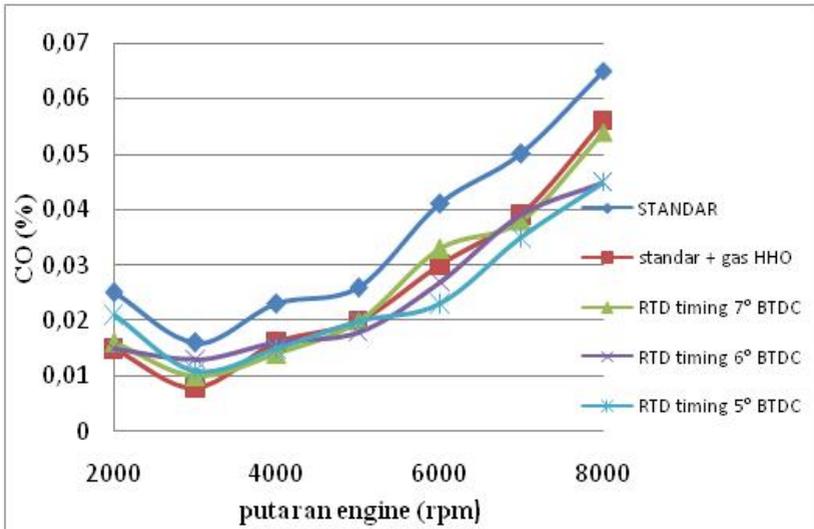
Selain itu, dengan penambahan gas HHO baik itu pada pengapian standar dan pengapian yang dimundurkan campuran cenderung kaya, hal ini disebabkan penambahan gas HHO menambah distribusi pencampuran bahan bakar dan udara diruang bakar, sehingga mereduksi udara yang masuk diruang bakar, hal ini juga menyebabkan atomisasi pembakaran menjadi lebih aktif dan propagasi api yang merambat menjadi lebih cepat dan menyeluruh. Selain itu dengan adanya oksigen pada gas HHO juga efektif membantu proses pencampuran, oksidasi dan pembakaran di ruang bakar.

#### **4.5 Analisa Emisi gas Buang**

Gas buang kendaraan bermotor menjadi masalah saat ini. Untuk itu, perlu diketahui pengaruh penambahan gas HHO pada engine, dengan pengaturan sudut pengapian yang dimundurkan.

##### **4.5.1 Analisa Gas Karbon Monoksida (CO)**

Karbonmonoksida (CO) merupakan salah satu gas buang hasil pembakaran yang berbahaya bagi kesehatan dan juga berdampak buruk pada lingkungan. CO pada gas buang kendaraan bermotor terjadi akibat kurang sempurnanya pembakaran di dalam ruang bakar. Kurang sempurnanya pembakaran ini diakibatkan oleh kurangnya pasokan udara dalam campuran yang masuk kedalam ruang bakar atau juga diakibatkan kurangnya waktu yang tersedia untuk menyelesaikan pembakaran. Pada saat putaran mesin rendah, maka turbulensi yang terjadi terlalu kecil untuk membentuk homogenitas campuran udara dan bahan bakar. Sedangkan ketika putaran tinggi maka terjadi pengurangan waktu pembakaran sehingga pembakaran kurang sempurna.



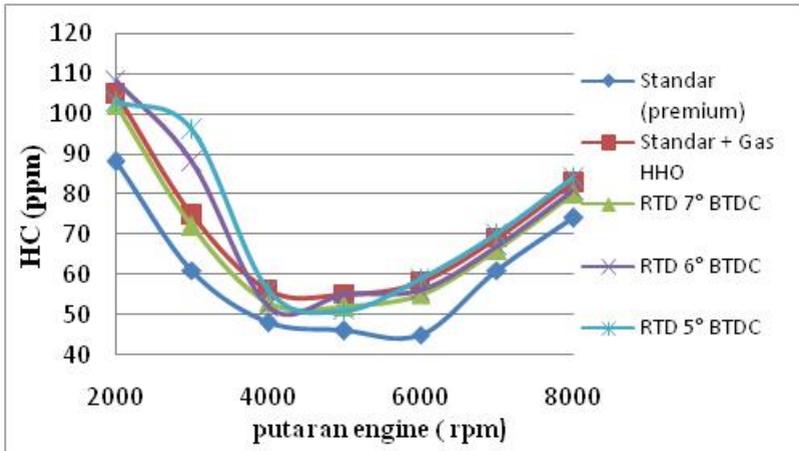
**Gambar 4.7 Grafik CO fungsi rpm engine**

Pada grafik CO fungsi rpm diatas, didapatkan *trendline* yang sama untuk setiap perubahan waktu pengapian. Hal ini dikarenakan pasokan bahan bakar yang diinjeksikan pada setiap perubahan pengapian sama. Sehingga terjadi proses pembakaran yang cenderung sama. Dengan dilakukannya pengaturan waktu pengapian, didapatkan penurunan kadar CO pada gas sisa hasil pembakaran, relatif terhadap pengapian standar. Penurunan kadar CO dikarenakan penambahan gas HHO menyebabkan pemasukan bahan bakar ke ruang bakar yang terlalu kaya (rich) sehingga menurunkan kadar CO pada mesin.

#### 4.5.2 Analisa Gas Buang Hidro Karbon (HC)

Emisi gas buang hidrokarbon (HC) adalah sejumlah bahan bakar yang tidakikut terbakar selama proses pembakaran berlangsung. Secara umum kadar emisi HC akan menurun seiring dengan meningkatnya putaran mesin diakibatkan ketika putaran bertambah tinggi maka homogenitas campuran udara dan bahan

bakar akan semakin baik. Akan tetapi hal itu hanya terjadi hingga putaran tertentu. Bila putaran bertambah cepat lagi, maka waktu pembakaran akan semakin sempit sehingga kadar bahan bakar yang belum terbakar akan lebih besar lagi.



**Gambar 4.8 Grafik CO fungsi rpm engine**

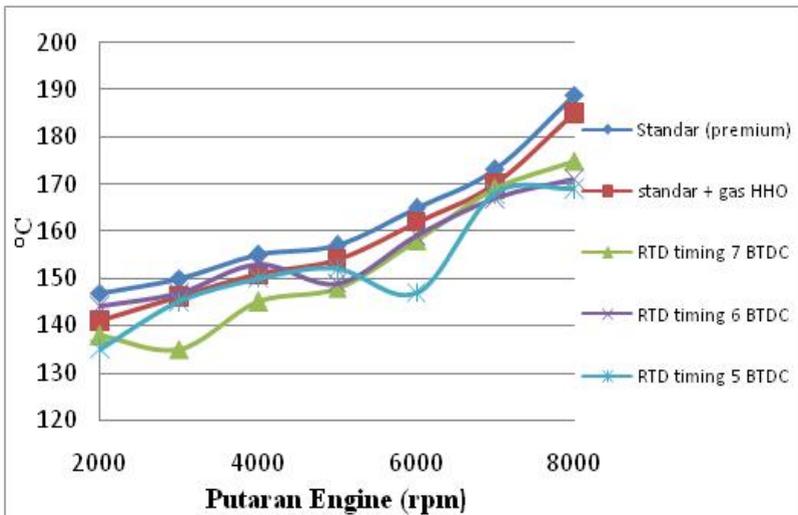
Dari grafik emisi HC fungsi putaran, dapat dilihat bahwa kadar emisi HC mengalami penurunan dengan bertambahnya putaran, akan tetapi akan mencapai kenaikan lagi apabila putaran dinaikkan lagi kadar HC akan naik lagi. Grafik setiap perubahan waktu pengapian cenderung sama. Hal ini dikarenakan laju aliran bahan bakarnya cenderung sama sehingga proses pembakarannya sama mengakibatkan hidrokarbon yang tidak ikut terbakar juga hampir sama. Dengan dilakukannya pengaturan waktu pengapian, didapatkan penurunan kadar HC pada gas sisa hasil pembakaran, relatif terhadap pengapian standar.

## 4.6 Analisa Temperatur

### 4.6.1 Temperatur Engine

Temperatur *Engine* diukur pada dinding blok silinder bagian luar menggunakan termokople. Pada *engine* ini

menggunakan media pendingin udara paksa, karena terdapat blower sebagai pembantu untuk mengalirkan udara ke dinding silinder luar. Berdasarkan grafik temperatur *engine* terhadap putaran *engine* terlihat bahwa besarnya temperatur *engine* naik seiring dengan naiknya putaran *engine*. Dengan naiknya putaran *engine* maka jumlah bahan bakar yang masuk ke ruang bakar semakin banyak, sehingga panas pembakaran yang dilepas ke dinding silinder juga semakin banyak, sehingga temperatur *engine* pun naik.



**Grafik 4.9** Grafik perbandingan *temperature engine* terhadap putaran *engine*.

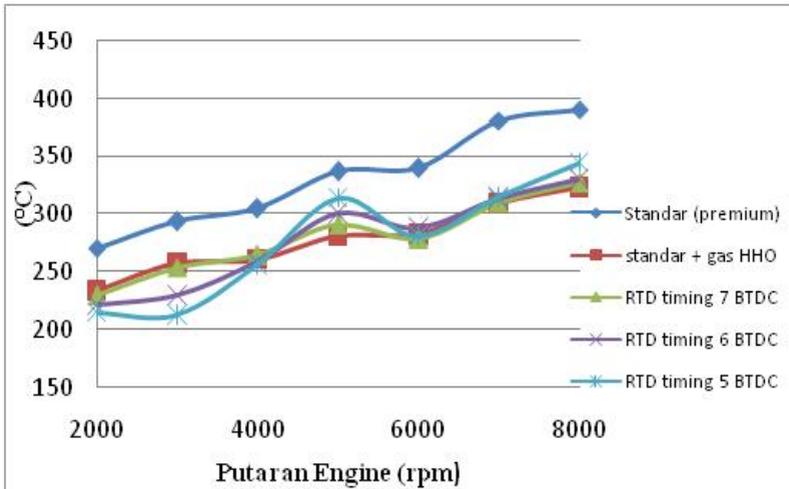
Pada gambar 4.9 grafik temperature *engine* dengan berbagai variasi penambahan gas HHO Baik pada pengapian standar dan pengapian yang dimundurkan 7°, 6°, 5° BTDC. terlihat bahwa temperatur *engine* tertinggi terjadi pada kondisi standar (premium). Sedangkan temperatur terendah dihasilkan ketika penambahan gas HHO pada variasi *timing ignition* 5° BTDC. Secara rata-rata, Penurunan *temperature* yang terjadi

ketika penambahan gas HHO baik itu pada pengaturan timing pengapain yang dimundurkan. Secara umum, dengan penambahan gas HHO pada Premium mengakibatkan temperatur engine cenderung menurun, dikarenakan nilai kalor yang rendah dari bahan bakar.

#### **4.6.2 Temperature Exhaust**

Temperatur knalpot diukur pada lubang exhaust menggunakan thermokopel. Secara umum grafik temperatur *exhaust* fungsi putaran engine menunjukkan semakin tinggi seiring dengan naiknya putaran engine. Besarnya temperatur knalpot yang ditunjukkan grafik terlihat bahwa temperatur knalpot naik sebanding dengan naiknya putaran engine. Dengan naiknya putaran engine maka jumlah bahan bakar yang masuk ke ruang bakar semakin banyak, sehingga panas pembakaran yang timbul di ruang bakar menjadi semakin besar, sehingga temperatur knalpot juga naik. Temperatur knalpot mengindikasikan kerugian-kerugian yang terjadi pada ruang bakar.

Dari pengujian kondisi standar (premium) diperoleh bahwa nilai maksimum temperatur *exhaust* sebesar 391°C pada putaran 8000 rpm, sedangkan pada pengujian dengan penambahan gas HHO temperatur *exhaust* mengalami penurunan dari kelompok kontrol (premium) sebesar 23 %. Hal ini disebabkan karena dengan dengan penambahan gas HHO pembakaran diruang bakar lebih sempurna dari pada kondisi standar (premium).

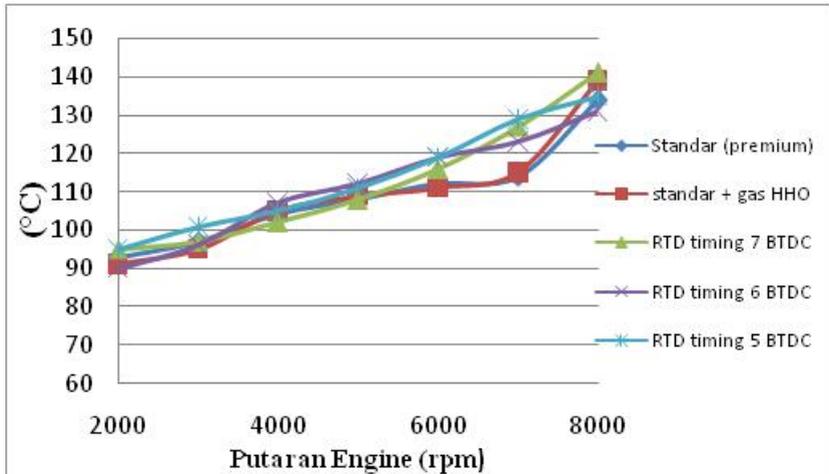


**Grafik 4.10** Grafik perbandingan *temperature exhaust* terhadap putaran engine.

Pada gambar 4.10 terlihat temperatur knalpot tertinggi dihasilkan ketika engine menggunakan campuran bahan bakar Premium. Sedangkan temperatur knalpot terendah dihasilkan ketika kondisi standar dengan penambahan gas HHO. Secara rata-rata terjadi penurunan sebesar 23% dibanding pada premium murni. Selain itu bisa juga diakibatkan oleh pengkabutan bahan bakar yang lebih baik, sehingga atomisasi bahan bakar menjadi lebih baik dan menghasilkan pembakaran yang lebih baik pula. Dan pada penambahan gas HHO pada *engine* dengan penurunan temperatur exhaust juga diakibatkan oleh gas HHO yang memiliki kandungan  $O_2$  lebih banyak, kandungan  $O_2$  yang dihasilkan gas HHO sendiri berkisar 0,333 dari total gas HHO, kandungan  $O_2$  juga dapat bertambah seiring dengan kenaikan putaran mesin. Dan sifat gas HHO yang *flemble* (mudah terbakar), nilai kalor kalor yang tinggi dan densitasnya yang rendah menyebabkan

pembakaran lebih sempurna yang mengakibatkan atomisasi bahan bakar cenderung lebih baik.

#### 4.5.3 Temperatur Oli



**Grafik 4.11 Grafik perbandingan *temperature* oli terhadap putaran engine.**

Gambar 4.11 menunjukkan grafik temperatur oli terhadap putaran mesin. Semua grafik diatas memiliki tren yang sama. Yaitu terjadinya kenaikan temperatur seiring dengan kenaikan putaran mesin. Semakin meningkatnya putaran *engine* maka jumlah bahan bakar yang masuk keruang bakar akan semakin banyak sehingga panas pembakaran yang masuk kedinding silinder juga akan semakin banyak sehingga temperatur oli pun akan naik.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## Lampiran A

### Hasil Pengukuran pada pengujian

**Tabel A.1 Data Torsi (Kgf.m) Pada Seluruh Pengujian Engine Megapro 150 cc**

engine (rpm)	Standar (premium)	Standar + Gas HHO	RTD 7° BTDC	RTD 6° BTDC	RTD 5° BTDC
2000	0,76	0,87	0,9	0,81	0,95
3000	0,98	1,01	1,02	1,009	1,05
4000	1,19	1,25	1,24	1,12	1,25
5000	1,21	1,22	1,42	1,4	1,3
6000	1,26	1,11	1,12	1,31	1,38
7000	0,73	0,65	0,68	1,009	1,05
8000	0,55	0,44	0,54	0,65	0,7

**Tabel A.2 Waktu Konsumsi 25 ml Bahan Bakar (s) Pada Seluruh Pengujian Engine Megapro 150 cc**

engine rpm	Standar (premium)	standar + gas HHO	RTD timing 7° BTDC	RTD timing 6° BTDC	RTD timing 5° BTDC
2000	55	59,8	62	58,44	63,2
3000	53,2	57,56	58,33	56,6	57,33
4000	51,2	55,4	55	58,56	56,45
5000	43,4	43,89	42,23	37,22	45,34
6000	32,3	41,5	46	45	39,31
7000	28	49,2	49,45	35,21	35
8000	22	51	47,3	38	37

## Lampiran B

### Hasil Pengukuran pada pengujian

**Tabel B.1 Data Emisi Gas Buang (CO) Pada Seluruh Pengujian Engine Megapro 150 cc**

engine rpm	Standar (premium)	standar + gas HHO	RTD 7° BTDC	RTD 6° BTDC	RTD 5° BTDC
2000	0,025	0,015	0,016	0,015	0,021
3000	0,016	0,008	0,01	0,013	0,011
4000	0,023	0,016	0,014	0,016	0,015
5000	0,026	0,02	0,02	0,018	0,02
6000	0,041	0,03	0,033	0,027	0,023
7000	0,05	0,039	0,038	0,039	0,035
8000	0,065	0,056	0,054	0,045	0,045

**Tabel B.2 Data Emisi Gas Buang (HC) Pada Seluruh Pengujian Engine Megapro 150 cc**

engine rpm	Standar (premium)	Standar + Gas HHO	RTD 7° BTDC	RTD 6° BTDC	RTD 5° BTDC
2000	88	105	102	108	103
3000	61	75	72	88	96
4000	48	56	53	52	56
5000	46	55	52	55	51
6000	45	58	55	56	59
7000	61	69	66	67	70
8000	74	83	80	81	84

**Tabel B.3 Data Emisi Gas Buang (CO<sub>2</sub>) Pada Seluruh Pengujian Engine Megapro 150 cc**

engine rpm	Standar (premium)	Standar + Gas HHO	RTD 7° BTDC	RTD 6° BTDC	RTD 5° BTDC
2000	9,7	9	8,9	8,85	10,05
3000	10,2	9,8	9,3	9,65	10,65
4000	10,4	9,9	9,6	10,1	10,5
5000	11	10,3	10	10,5	10,45
6000	11,5	10,5	10,3	10,7	10,25
7000	10,5	10,5	10,7	10,7	10,15
8000	11,1	11,2	10,8	10,8	10,8

## Lampiran C

### Hasil Pengukuran pada pengujian

**Tabel C.1 Data Temperatur Mesin (°C) Pada Seluruh Pengujian Engine Megapro 150 cc**

engine rpm	Standar (premium)	standar + gas HHO	RTD 7° BTDC	RTD 6° BTDC	RTD 5° BTDC
2000	147	141	138	144	135
3000	150	146	135	147	145
4000	155	151	145	153	150
5000	157	154	148	149	152
6000	165	162	158	159	147
7000	173	170	169	167	168
8000	189	185	175	171	169

**Tabel C.2 Data Temperatur Oli (°C) Pada Seluruh Pengujian Engine Megapro 150 cc**

engine rpm	Standar (premium)	standar + gas HHO	RTD 7° BTDC	RTD 6° BTDC	RTD 5° BTDC
2000	93	91	95	90	95
3000	97	95	97	96	101
4000	104	105	102	107	105
5000	108	109	108	112	111
6000	112	111	116	119	119
7000	114	115	127	123	128
8000	134	139	141	131	135

**Tabel C.3 Data Temperatur Exhaust (°C) Pada Seluruh Pengujian Engine Megapro 150 cc**

engine rpm	Standar (premium)	standar + gas HHO	RTD 7° BTDC	RTD 6° BTDC	RTD 5° BTDC
2000	271	234	230	221	215
3000	294	258	254	230	213
4000	305	261	265	259	256
5000	337	281	291	301	314
6000	340	283	279	288	281
7000	381	309	310	313	315
8000	391	323	327	330	345

## Lampiran D Hasil Perhitungan

**Tabel D.1 Perhitungan Torsi (N.m)**

engine (rpm)	Standar (premium)	standar + gas HHO	RTD timing 7° BTDC	RTD timing 6° BTDC	RTD timing 5° BTDC
2000	7,491	8,62	8,924	7,94	9,414
3000	9,612	10,002	10,1	9,904	10,395
4000	11,767	12,351	12,258	11,081	12,356
5000	11,904	12,062	14,023	13,827	12,846
6000	11,924	10,983	11,08	12,84	13,631
7000	7,256	6,472	6,68	9,904	10,395
8000	5,491	4,4123	5,39	6,472	6,962

**Tabel D.2 Perhitungan BHP (Brake Horse Power) (Watt)**

engine rpm	Standar (premium)	standar + gas HHO	RTD timing 7° BTDC	RTD timing 6° BTDC	RTD timing 5° BTDC
2000	1009,082646	1161,16572	1202,116344	1069,56564	1268,122284
3000	2001,045384	2082,236364	2102,6382	2061,834528	2164,05189
4000	2948,480724	3094,814772	3071,511576	2776,588332	3096,067632
5000	4008,177746	4061,377686	4721,663015	4655,668153	4325,357134
6000	4702,634816	4331,519472	4369,77472	5063,89056	5375,848304
7000	3428,20694	3057,794283	3156,067028	4679,294588	4911,274964
8000	3009,83193	2418,554257	2954,469878	3547,556411	3816,144581

**Tabel D.3 Perhitungan Bmep (Tekanan Efektif Rata-Rata) (Pa)**

engine rpm	Standar (premium)	standar + gas HHO	RTD timing 7° BTDC	RTD timing 6° BTDC	RTD timing 5° BTDC
2000	640435,9171	726758,5774	752389,0423	669427,2743	793701,3048
3000	810394,8313	843276,0198	851538,4723	835013,5673	876410,1406
4000	992084,4757	1041321,948	1033481,049	934247,3081	1041743,501
5000	1003635,047	1016956,144	1182289,505	1165764,6	1083055,764
6000	1005321,262	925984,8556	934162,9974	1082549,899	1149239,695
7000	611758,7283	545659,1082	563195,7421	835013,5673	876410,1406
8000	462950,2724	372004,2774	454434,8877	545659,1082	586971,3707

**Tabel D.4 SFC (Konsumsi Bahan Bakar Specific) (kg/Kw.h)**

engine rpm	Standar (premium)	standar + gas HHO	RTD timing 7° BTDC	RTD timing 6° BTDC	RTD timing 5° BTDC
2000	1,197351805	0,957008532	0,891606054	1,063147568	0,829149775
3000	0,624227114	0,554447447	0,541819553	0,569430809	0,535625923
4000	0,440192811	0,387584833	0,393365578	0,408694354	0,380221626
5000	0,410376858	0,372796856	0,333269163	0,317187942	0,338850173
6000	0,437489287	0,369677341	0,330593508	0,291618032	0,314456916
7000	0,510106166	0,441710612	0,425793165	0,403333957	0,386588478
8000	0,649366736	0,538747402	0,475521867	0,492944804	0,47063547

**Tabel D.5 Efisiensi Thermal**

engine rpm	Standar (premium)	standar + gas HHO	RTD timing 7° BTDC	RTD timing 6° BTDC	RTD timing 5° BTDC
2000	10,36770735	12,97145499	13,9229574	11,67645347	14,97171376
3000	19,88666115	22,38948556	22,91130515	21,80035382	23,17623655
4000	28,20080833	32,02858327	31,55790387	30,37427113	32,64883494
5000	32,49600739	33,29908209	37,24855011	39,13702717	36,63505017
6000	28,37507905	33,58007569	37,55002085	42,56867455	39,47692822
7000	17,93157199	28,10390508	29,15451472	30,77795181	32,11113058
8000	12,36967328	23,04195444	26,10561989	25,18292717	26,3766628

*Halaman sengaja dikosongkan*

## E.1 Pengujian Standar (Premium)

standar (premium)																
rpm	putaran poros waterbrake	gaya torsi (Nm)	konsumsi 25 ml (second)	m bb (kg/s)	temperatur			emis gas buang			pilot static (mm)	selisih ketinggian pilot (mm)	perbedaan tekanan (kPa)	kecepatan udara (m/s)	m udara (kg/s)	nilai AFR
					blok silinder	exhaust	pelumas	CO (%)	CO2 (%)	HC (ppm)						
2000	1287	7,491	55	0,000335	167	271	93	0,02	9,7	97	1	1	9,78057	4,077913714	0,005466077	0,000729686
3000	1989	9,612	53,2	0,0003947	159	294	81	0,011	10,2	98	1	1	9,78057	4,077913714	0,005466077	0,000568672
4000	2394	11,767	51,2	0,00036	155	305	80	0,018	10,4	81	1,1	1,1	10,758627	4,276951985	0,00573287	0,000487199
5000	3217	11,904	35,4	0,000521	157	337	77	0,026	11	71	2	2	19,56114	5,767040881	0,0077302	0,000649378
6000	3768	11,924	32,3	0,000571	162	320	73	0,036	11,5	55	2	2	19,56114	5,767040881	0,0077302	0,000649378
7000	4514	7,256	28	0,000659	133	381	72	0,045	10,5	48	2,5	2,5	24,451425	6,447747719	0,008642626	0,001191101
8000	5237	5,491	22	0,000839	155	298	65	0,06	11,1	58	3,1	3,1	30,319767	7,179907994	0,009624021	0,00175269

## E.2 Pengujian Standar (Premium) + Gas HHO

standar (premium) + HHO																			
rpm	putaran poros waterbrake	gaya torsi (Nm)	konsumsi 25 ml (second)	m bb (kg/s)	temperatur			emis gas buang			pilot static (mm)	selisih ketinggian pilot (mm)	perbedaan tekanan (kPa)	kecepatan udara (m/s)	m udara (kg/s)	m gas HHO (kg/s)	nilai AFR	Laju Energi (KJ)	Subst.bb (%)
					blok silinder	exhaust	pelumas	CO (%)	CO2 (%)	HC (ppm)									
2000	1395	8,62	59,8	0,000309	164	264	91	0,015	9	88	0,7	0,7	6,846399	3,411827396	0,004573248	0,0001	11,1944261	0,242937402	67,58007588
3000	2089	10,002	55,56	0,000332	155	288	79	0,008	9,8	87	0,9	0,9	8,802513	3,868648632	0,005185576	0,0001	12,00160772	0,168521046	69,88617886
4000	2337	12,351	53,4	0,000346	153	291	81	0,016	9,9	73	1,1	1,1	10,758627	4,276951985	0,00573287	0,0001	12,86022338	0,128190783	71,05691057
5000	3501	12,062	39,89	0,000463	152	331	79	0,02	10,3	56	1,1	1,1	10,758627	4,276951985	0,00573287	0,00011	10,01139674	0,127486502	76,21734417
6000	3985	10,983	33	0,000659	159	303	76	0,03	10,5	50	1,2	1,2	11,736684	4,467130638	0,005987787	0,00013	8,689401005	0,127293559	76,7456746
7000	4599	6,472	31,2	0,000691	130	379	77	0,039	10,5	42	1,4	1,4	13,692798	4,820625276	0,006467549	0,0002	8,172849938	0,155750046	66,17886179
8000	5353	4,4123	25	0,000738	153	290	61	0,056	11,2	49	1,4	1,4	13,692798	4,820625276	0,006467549	0,0002	6,895042013	0,134110283	72,899729

## E.3 Retard 7° BTDC

Retard 7° BTDC																			
rpm	putaran poros waterbrake	gaya torsi (Nm)	konsumsi 25 ml (second)	m bb (kg/s)	temperatur			emis gas buang			pilot static (mm)	selisih ketinggian pilot (mm)	perbedaan tekanan (kPa)	kecepatan udara (m/s)	m udara (kg/s)	m gas HHO (kg/s)	nilai AFR	Laju Energi (KJ)	Subst.bb (%)
					blok silinder	exhaust	pelumas	CO (%)	CO2 (%)	HC (ppm)									
2000	1445	8,924	62	0,000298	170	260	95	0,02	8,9	97	0,6	0,6	5,868342	3,15873838	0,004224005	0,00011	10,3814039	0,249754301	63,05233035
3000	2139	10,1	56,33	0,000328	161	291	81	0,011	9,3	98	0,7	0,7	6,846399	3,411827396	0,004573248	0,00013	9,99342969	0,19004136	60,30948509
4000	2387	12,258	53	0,000348	158	287	88	0,018	9,6	81	1	1	9,78057	4,077913714	0,005466077	0,00016	10,75795857	0,163926399	54,03794038
5000	3551	14,023	42,23	0,000437	159	333	78	0,026	10	71	1,1	1,1	10,758627	4,276951985	0,00573287	0,00018	9,293131746	0,155104019	58,8
6000	4055	11,08	36	0,000513	165	317	75	0,036	10,3	55	1,1	1,1	10,758627	4,276951985	0,00573287	0,00025	7,518917793	0,166376806	51,2195122
7000	4649	6,68	33,45	0,000552	135	380	73	0,045	10,7	48	1,1	1,1	10,758627	4,276951985	0,00573287	0,00026	7,063929546	0,159531298	52,86178862
8000	5403	5,39	23,2	0,000795	157	289	59	0,06	10,8	58	1,2	1,2	11,736684	4,467130638	0,005987787	0,00026	5,674236742	0,157108491	67,30623306

## E.4 Retard 6° BTDC

Retard 6° BTDC																			
rpm	putaran poros waterbrake	gaya torsi (N.m)	konsumsi 25 ml (second)	m bb (kg/s)	temperatur			emisi gas buang			pihot static (mm)	selisih ketinggian pihot (mm)	perbedaan tekanan (Pa)	kecepatan udara (m/s)	m udara (kg/s)	m gas HHO (kg/s)	nilai AFR	Laju Energi (KJ)	Subst.bb (%)
					blok silinder	exhaust	pelumas	CO (%)	CO2 (%)	HC (ppm)									
2000	1497	7,94	58,44	0,000316	169	277	92	0,015	8,85	92	0,8	0,8	7,824456	3,647396008	0,004889008	0,00011	11,48440479	0,257333523	65,15772538
3000	2191	9,904	54	0,000342	156	296	81	0,013	9,65	82	1	1	9,78057	4,077913714	0,005466077	0,00014	11,34025654	0,201579444	59,02439024
4000	2499	11,081	55,56	0,000332	155	315	75	0,016	10,1	68	1,2	1,2	11,736684	4,467130658	0,005987787	0,00016	12,16848304	0,160573285	51,81788618
5000	3603	13,827	37,22	0,000496	161	341	79	0,018	10,5	53	1,5	1,5	14,670855	4,994403907	0,00669455	0,00024	9,099549277	0,192285075	51,58373984
6000	4087	12,84	35	0,000527	166	321	78	0,027	10,7	45	1,4	1,4	13,682798	4,828562576	0,006467549	0,00036	7,290153542	0,210196143	31,70731707
7000	4701	9,904	35,21	0,000524	135	383	79	0,039	10,7	45	1,3	1,3	12,714741	4,649537003	0,006232287	0,0004	6,744907159	0,192814455	23,66395664
8000	5455	6,472	25	0,000738	159	301	66	0,045	10,8	53	1,8	1,8	17,605028	5,471095363	0,007335312	0,0003	7,065040104	0,1625957	59,34993935

## E.5 Retard 5° BTDC

Retard 5° BTDC																			
rpm	putaran poros waterbrake	gaya torsi (N.m)	konsumsi 25 ml (second)	m bb (kg/s)	temperatur			emisi gas buang			pihot static (mm)	selisih ketinggian pihot (mm)	perbedaan tekanan (Pa)	kecepatan udara (m/s)	m udara (kg/s)	m gas HHO (kg/s)	nilai AFR	Laju Energi (KJ)	Subst.bb (%)
					blok silinder	exhaust	pelumas	CO (%)	CO2 (%)	HC (ppm)									
2000	1518	9,414	63,2	0,000292	161	260	91	0,023	10,05	95	0,7	0,7	6,846399	3,411827396	0,004573248	0,00011	11,37020945	0,247391925	62,2197832
3000	2210	10,395	57,33	0,000322	157	296	86	0,017	10,65	90	0,9	0,9	8,802513	3,868648632	0,005185576	0,00015	10,99055672	0,203643917	53,2902439
4000	2458	12,356	54,45	0,000339	149	309	89	0,015	10,5	77	1,1	1,1	10,758627	4,276951985	0,00573287	0,00013	12,22768695	0,144897207	61,63414634
5000	3622	12,846	45,34	0,000407	152	342	77	0,02	10,45	69	1,4	1,4	13,682798	4,828562576	0,006467549	0,00013	12,04552594	0,127303879	68,05311653
6000	4106	13,631	36,31	0,000508	157	328	73	0,023	10,25	50	1,3	1,3	12,714741	4,649537003	0,006232287	0,00015	9,469768874	0,127786449	70,4796748
7000	4720	10,395	35	0,000527	128	279	79	0,035	10,15	45	1,2	1,2	11,736684	4,467130658	0,005987787	0,0002	8,23467793	0,128080503	62,0596206
8000	5474	6,962	25,14	0,000734	151	288	66	0,045	10,8	55	1,5	1,5	14,670855	4,994403907	0,00669455	0,0002	7,168454646	0,133680708	72,74796748

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Beberapa kesimpulan yang bisa diambil dari penelitian ini adalah:

1. Hasil unjuk kerja mesin Megapro 150 cc didapatkan, dengan penambahan gas HHO baik pada pengapian standar dan pengaturan ignition timing  $7^\circ$  BTDC,  $6^\circ$  BTDC,  $5^\circ$  BTDC, dan kondisi standar (premium) sebagai kelompok kontrol. Didapatkan hasil berupa:
  - Pengapian standard ( $8^\circ$ BTDC):
    - Torsi menunjukkan hasil maksimal sebesar 12,06 N.m dengan kenaikan 1,3% pada putaran 5000 rpm.
    - Bhp menunjukkan hasil maksimal sebesar 4061,37 Watt dengan kenaikan 1,3% pada putaran 5000 rpm.
    - Bmep menunjukkan hasil maksimal sebesar 1041321,94 Pa dengan kenaikan 4,7% pada putaran 4000 rpm.
    - Sfc menunjukkan hasil maksimal sebesar 0,441 (kg/Kw.h) dengan kenaikan sebesar 15,54%.
  - *Retard Ignation Timing*  $7^\circ$  BTDC:
    - Torsi menunjukkan hasil maksimal sebesar 14,023 N.m dengan kenaikan 15,11% pada putaran 5000 rpm.
    - Bhp menunjukkan hasil maksimal sebesar 4721,66 Watt dengan kenaikan 15,1% pada putaran 5000 rpm.
    - Bmep menunjukkan hasil maksimal sebesar 1182289,5 Pa dengan kenaikan 15,11% pada putaran 5000 rpm.

- Sfc menunjukkan hasil maksimal sebesar 0,47552 (kg/Kw.h) dengan kenaikan sebesar 36,98%.
- *Retard Ignation Timing 6° BTDC*
- Torsi menunjukkan hasil maksimal sebesar 9,904 N.m dengan kenaikan 36,52% pada putaran 7000 rpm.
  - Bhp menunjukkan hasil maksimal sebesar 4679,29 Watt dengan kenaikan 26,73% pada putaran 7000 rpm.
  - Bmep menunjukkan hasil maksimal sebesar 835013,56 Pa dengan kenaikan 26,73 % pada putaran 7000 rpm.
  - Sfc menunjukkan hasil maksimal sebesar 0,2916 (kg/Kw.h) dengan kenaikan sebesar 50,30%.
- *Retard Ignation Timing 5° BTDC*
- Torsi menunjukkan hasil maksimal sebesar 10,395 N.m dengan kenaikan 30,21% pada putaran 7000 rpm.
  - Bhp menunjukkan hasil maksimal sebesar 4911,27 Watt dengan kenaikan 30,19% pada putaran 7000 rpm.
  - Bmep menunjukkan hasil maksimal sebesar 876410,14 Pa dengan kenaikan 30,19 % pada putaran 7000 rpm.
  - Sfc menunjukkan hasil maksimal sebesar 0,3144 (kg/Kw.h) dengan kenaikan sebesar 39,68%.
2. Hasil AFR (rasio udara dan bahan bakar): Bila dibandingkan dengan standar (premium), dengan penambahan gas HHO pada kondisi standar dan pengapian yang dimundurkan didapatkan hasil berupa: penambahan gas HHO pada pengapian standar

menunjukkan penurunan nilai AFR rata-rata sebesar 26,11% terhadap kelompok kontrol (premium), pada *retard ignition timing* 7° BTDC menunjukkan penurunan nilai AFR rata-rata sebesar 37,03% terhadap kelompok kontrol (premium), pada *retard ignition timing* 6° BTDC menunjukkan penurunan nilai AFR rata-rata sebesar 37,13% terhadap kelompok kontrol (premium), dan *retard ignition timing* 5° BTDC menunjukkan penurunan nilai AFR rata-rata sebesar 39,45% terhadap kelompok kontrol (premium).

3. Hasil emisi gas buang honda megapro 150 cc dengan mevariasikan waktu pengapian baik pengapian standard dan pengapian yang dimundurkan 7°, 6° dan 5° BTDC didapatkan hasil berupa: pada penambahan gas HHO (pada pengapian standar) didapatkan penurunan emisi CO sebesar 34,06% terhadap kelompok kontrol (premium), pada *retard ignition timing* 7° BTDC menunjukkan penurunan emisi CO rata-rata sebesar 39,45% terhadap kelompok kontrol (premium), pada *retard ignition timing* 6° BTDC menunjukkan penurunan emisi CO rata-rata sebesar 37,13 % terhadap kelompok kontrol (premium), dan pada *retard ignition timing* 5° BTDC menunjukkan penurunan emisi CO rata-rata sebesar 45,2 % terhadap kelompok kontrol (premium).
4. Dari hasil temperatur operasional *engine* Megapro 150 cc, pada temperatur mesin didapatkan penurunan temperatur rata-rata sebesar 6,5% terhadap kelompok kontrol (premium), pada temperatur Oli didapatkan penurunan temperatur rata-rata sebesar 2,1 % terhadap kelompok kontrol (premium) dan pada temperatur exhaust didapatkan penurunan temperatur rata-rata sebesar 18,98 % terhadap kelompok kontrol (premium).

## 5.2 Saran

Penelitian yang dilakukan ini memiliki beberapa saran yang diantaranya adalah:

1. Agar dicoba variasi pengaturan pada mesin yang lebih banyak terhadap aplikasi penambahan gas HHO pada mesin bensin.
2. Pengaturan waktu pengapian dan injeksi bahan bakar masih perlu diteliti dan disempurnakan agar bisa didapat performa engine yang lebih baik lagi.
3. Perlu dilakukan peremajaan alat pada *waterbrake dynamometer* dan roller roda belakang, mengingat alat tersebut alat dengan waktu pemakaian yang sangat lama. Hal ini dilakukan agar meminimalisir kesalahan pembacaan pada torsi.
4. Perlu dikembangkan alat untuk pembacaan konsumsi bahan bakar karena alat tersebut menggunakan pembacaan manual. Sehingga keakuratan pembacaan waktu konsumsi kurang baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] [energynusantara.com/wp.../paparan-Outlook-Energi Nasional-2014](http://energynusantara.com/wp.../paparan-Outlook-Energi-Nasional-2014)
- [2] Wrdianto. 2013. *Effect of PWM E-2 Vtoward Performance of Generaor HHO Dry and Wet Cell Type With Dimension 70 mm x70 m*, Indonesia : Dept of Mechanical engineering, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [3] Arzaqa, Yanuar. 2013. *Charateristic Study of HHO Gas Generator Using Dry Celland Wet cell type 80 x 80 mm Dimensions With Adding PWM E-3FF(1 kHz)*,Indonesia : Dept of Mechanical engineering, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [4] Lutjering, G., Williams C, J., 2003. *Titanium*. USA: Springer.
- [5] Widyatara, Dendy. 2011. *The Effect of HHO Generator Addition With Series and Parallel Generator Variation On Performance of Honda Supra X 125 PGM-FI*, Indonesia : Dept of Mechanical engineering, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [6] Wirawan, Fahmi. 2014. *The Effect of Addition HHO Gas Toward Constant Speed Diesel Engine Performance By Mass Variation KOH Catalyst For HHO Gas Generator*,Indonesia : Dept of Mechanical engineering, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [7] Arismunandar, Wiranto. 1998. *Penggerak Mula Motor Bakar*, Edisi Empat, ITB, Bandung.
- [8] Kawano, Djoko Sungkono. 2011. *Motor Bakar Torak (Bensin)*. Surabaya : Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
- [9] <http://ferdi.blog.unas.ac.id/ecopowerbooster/apakah-eco-power-booster-itu/>
- [10] Pudjanarsa, Astu., Nursuhud, Djati., 2008. *Mesin Konversi Energi*, Edisi Revisi, Penerbit Andi Offset, Yogyakarta.
- [11] Saranggih, Abdi., Parangin. 2013. *Pengaruh Penggunaan Eektroliser Terhadap Daya Dan Penghematan Konsumsi Bahan Bakar Bensin Pada Mesin Sepeda Motor*. Indonesia: Teknik Mesin, Universitas Islam Riau.
- [12] C. Naresh, Y. Sureshbabu, S.Bagavi. 2014. *Performance And Exhaust Gas Analyzer Of A Single Cylinder Diesel Engine*

- Using HHO Gas (Brown's Gas). Int. Journal of Engineering Research . Volume No:3 issue: Spesial: PP: 40-47.*
- [13]Sudirman, Urip, 2009, *Hemat BBM dengan Air*, cetakan kedua, Jakarta:Kawan Pustaka.
- [14]<http://Gas-hho.blogspot.co.id/2013/03/permasalahan-dan-kegagalan-dalam.html>
- [15]Heywood., J.B.1988. *Internal Combustion Engines*. Mc Graw Hill, London.
- [16]Pudjanarsa, Astu., Nursuhud, Djati., 2008. *Mesin Konversi Energi*, Edisi Revisi, Penerbit Andi Offset, Yogyakarta.
- [17] Kawano, Djoko Sungkono. 2011. **Motor Bakar Torak (Bensin)**. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
- [18]Sudarmanta, B., Darsopuspito, S., Sungkono, D., 2016.*Aplication Of Dry Cell HHO Gas Generator Width Modulation On Sinjai Spark Iganation Engine Performance*. International Journal Of Research In Engineering And Technology.
- [19]El-Kassaby, M.M., A. Eldrainy, Y.A., E.Khidr, M., 2015. *Effect Of Hydroxy (HHO) Gas Addition On Gasoline Engine Performance End Emissions*. Egypt : Mechanical Engineering Department, Alexandria University.
- [20]Falahat, A.M., Hamdan, M.A., Yamin, J.A., 2014. *Engine Performance Powered By Mixture Of Hydrogen And Oxygen Fuel Obtained From Water Electrolysis*. Int. Journal Of Automotive Technology, Vol.15, No.1,pp.97-101.

*Halaman sengaja dikosongkan*



Penulis dilahirkan di Matur, 18 Juni 1992, merupakan pertama (ke-1) dari 4 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Timpeh (1997-1998), SDN 48 Sungai Rumbai (1998-2004), SMP Prof. DR. Hamka Padang Pariaman Sumatra Barat (2004-2007), MA Assalaam Surakarta (2008-2011) dan D3 Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada (2011-2014)

mengambil konsentrasi otomotif. Setelah lulus studi di UGM yaitu tahun 2014, penulis melanjutkan studi ke tahap sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) jurusan teknik mesin mengambil bidang keahlian Konversi Energi spesialisasi pada Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar. Dan diterima pada bulan Juni tahun 2014 dengan NRP 2114105053 dan menyelesaikan pada bulan juli 2016. Keinginan untuk selalu belajar dan mengamalkan ilmu yang didapat selama kuliah mendorong penulis untuk mengambil Tugas Akhir dengan judul **“Aplikasi Penggunaan Generator Gas HHO Tipe Dry Cell Menggunakan Plat Titanium Terhadap Performa Dan Emisi Gas Buang Honda Megapro 150 cc”**. Penulis memiliki harapan agar ilmu yang telah didapatkan dapat berguna untuk agama dan negara. Penulis dapat dihubungi melalui email dibawah ini.

Email penulis : [Dharuseto56@yahoo.co.id](mailto:Dharuseto56@yahoo.co.id)