



TESIS - TM 092501

# APLIKASI GAS HHO PADA SEPEDA MOTOR 150 CC

NOFRIYANDI. R  
NRP. 2112 202 013

Dosen Pembimbing:  
Prof.Dr.Ir.H.Djoko Sungkono Kawano, M.Eng.Sc

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA KONVERSI ENERGI  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2014



THESIS - TM 092501

# APPLICATIONS OF HHO GAS IN THE 150 CC MOTORCYCLE

NOFRIYANDI. R  
NRP. 2112 202 013

Advisor :  
Prof.Dr.Ir.H.Djoko Sungkono Kawano, M.Eng.Sc

MASTER PROGRAM  
ENERGY CONVERSION ENGINEERING  
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2014

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**NOFRIYANDI R.**  
NRP. 2112202013

Tanggal Ujian : 21 Juli 2014  
Periode Wisuda : September 2014

Disetujui oleh:

1. Prof. Dr. Ir. H. Djoko Sungkono K., M.Eng.Sc. ....(Pembimbing)  
NIP. 194409071976031001

2. Ary Bachtiar K. P., ST., MT., Ph.D. ....(Penguji 1)  
NIP. 197105241997021001

3. Dr. Bambang Arip Dwiyantoro., ST., M.Eng. ....(Penguji II)  
NIP. 197804012002121001

4. Vivien Supandany., ST., M.Eng.Sc., Ph.D. ....(Penguji III)  
NIP. 198105292003122001

Direktur Program Pascasajana,

**Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.**  
NIP. 196404051990021001

## KATA PENGANTAR

Dengan rasa syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan barokah dan hidayah-Nya sehingga tesis dengan judul “ Aplikasi Gas HHO Pada Sepeda Motor 150 cc ” dapat diselesaikan.

Untuk penyelesaian tesis ini tidak lepas dari motivasi dan bimbingan serta bantuan dari berbagai pihak, baik berbentuk moral maupun spiritual. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Prof. Ir. Sutardi, MSc,Ph.D, selaku Ketua Jurusan Pascasarjana Teknik Mesin beserta staf.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Djoko Sungkono K, M.Eng.Sc, selaku Dosen Pembimbing proposal tesis yang secara langsung telah banyak memberikan bimbingan dan bantuan dalam penyelesaian tesis ini.
3. Rekan-rekan mahasiswa Jurusan Rekayasa Konversi Energi Teknik Mesin FTI ITS angkatan 2011, 2012 dan 2013 yang telah memberikan bantuan dan dukungan selama bimbingan tesis.
4. Serta pihak-pihak yang telah membantu dalam tesis ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Semoga semua bantuan, dorongan, dan bimbingan yang telah diberikan kepada penulis mendapat balasan yang setimpal disisi Allah SWT. Dalam penulisan tesis ini penulis menyadari masih jauh dari sempurna, untuk itu kritik dan sarannya yang membangun penulis harapkan untuk menyempurnakan tulisan pada masa akan datang.

# APLIKASI GAS HHO PADA SEPEDA MOTOR 150 CC

Nama : Nofriyandi. R  
NRP : 2112202013  
Jurusan : Teknik Mesin  
Dosen Pembimbing : Prof. Dr.Ir. H. D. Sungkono K.,M.Eng.Sc

## ABSTRAK

Kualitas pembakaran dapat ditingkatkan dengan penambahan gas hidrogen dan oksigen yang diperoleh dari elektrolisis air, bahkan dapat mengurangi pemakaian bahan bakar utama. Pada penelitian ini sepeda motor dipakai sebagai alat uji. Hasil elektrolisis disalurkan kedalam *intake manifold* agar langsung masuk kedalam ruang bakar.

Percobaan dilakukan di Lab. Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar ITS. Tahapan pertama yaitu mencari hasil terbaik gas hidrogen dengan membuat generator HHO tipe dry menggunakan plate SS316L. Ukuran plate 70 mm x 70 mm, bagian tengah plate di lubangi  $\varnothing$  12 mm, bagian atas dan bagian bawah plat dilubangi  $\varnothing$  10 mm dengan variasi 1-6 cell. Masing-masing cell menggunakan 4 plate netral dengan penambahan 5, 7, 9 gram KOH. Setelah generator gas HHO di pilih yang terbaik, tahap kedua pengujian unjuk kerja dan emisi gas buang. Penelitian dipakai cara perbandingan antara bahan bakar pertamax (RON 91) dengan bahan bakar campuran pertamax + gas HHO.

Dari hasil penelitian dengan penambahan bahan bakar gas HHO terjadi peningkatan daya sebesar 50 % pada 3000 rpm, peningkatan torsi sebesar 29,41 % pada 3000 rpm, penurunan *Sfc* tertinggi sebesar 50,63 % pada 3000 rpm, peningkatan *BMEP* tertinggi sebesar 41,46 % pada 3000 rpm, peningkatan efisiensi thermal tertinggi sebesar 49,75 % pada 3000 rpm. Menurunkan kadar emisi CO 39,52 % pada 3000 rpm, CO<sub>2</sub> menurun 18,2 % pada 3000 rpm dan peningkatan O<sub>2</sub> 11,01 % pada 3000 rpm

**Kata kunci:** HHO, pertamax, emisi, cell, plate netral, KOH.

# DESIGN CONTROL SYSTEM HYDRAULIC ON MOTORCYCLE SUSPENSION 1 DOF TEST RIG

**Student Name** : Ferly Isnomo Abdi  
**NRP** : 2111 030 103  
**Major** : D-III Mechanical Engineering FTI-ITS  
**Advisor 1** : Liza Rusdiyana, ST., MT.  
**Advisor 2** : Hendro Nurhadi, Dipl.-Ing., Ph.D.

## ABSTRACT

*The hydraulic system is a system that uses a fluid lubricant (oil) as a medium for driving the concept of pressure on the liquid. The hydraulic system is now mostly used in the industrial world, especially as the power system because this system can operate accurately, optimally and efficiently.*

*In this final project, design of the hydraulic control system on motorcycle suspension 1 DOF test rig uses Automation Studio software. On the hydraulic control system using PLC control system is Programmable Logic Controllers with ladder diagram method.*

*The results of the design of the hydraulic system is the motor power of 0.56 kW, pump capacity 13.76 cc/rev, a maximum pressure of 17.71 bar, and accepted by the maximum force of 25.13 kN cylinder. In the design of the control system must have the four basic control system design that wiring diagram, ladder diagram, electrical hydraulic and sequential functional chart. Therefore, it can be used as a basis for the design of hydraulic systems or any other system that uses PLC as the control system.*

**Keywords:** Hydraulic system, PLC, Ladder Diagram and Sequential Functional Chart.

## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL

HALAMAN JUDUL

HALAMAN PENGESAHAN

KATA PENGANTAR..... i

ABSTRAK ..... ii

*ABSTRACT* ..... iii

DAFTAR ISI..... iv

DAFTAR TABEL ..... viii

DAFTAR GAMBAR..... ix

DAFTAR LAMPIRAN ..... xi

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang ..... 1

1.2 Perumusan Masalah ..... 5

1.3 Batasan Masalah..... 5

1.4 Tujuan Penelitian ..... 5

1.5 Manfaat Penelitian ..... 6

1.6 Metode Penelitian ..... 6

1.7 Sistematika Penelitian ..... 7

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Sebagai Sumber Energi..... 8

2.1.1 Brown's Gas (Hidrogen Hidrogen Oksida, HHO) ..... 9

2.1.2 Elektrolisis..... 12

2.1.3 Sistem Elektrolisa Air ..... 12

2.1.4 Proses Elektrolisa Air Untuk Memproduksi Gas HHO..... 14

2.1.5 Tipe Generator Brown's Gas (HHO) ..... 16

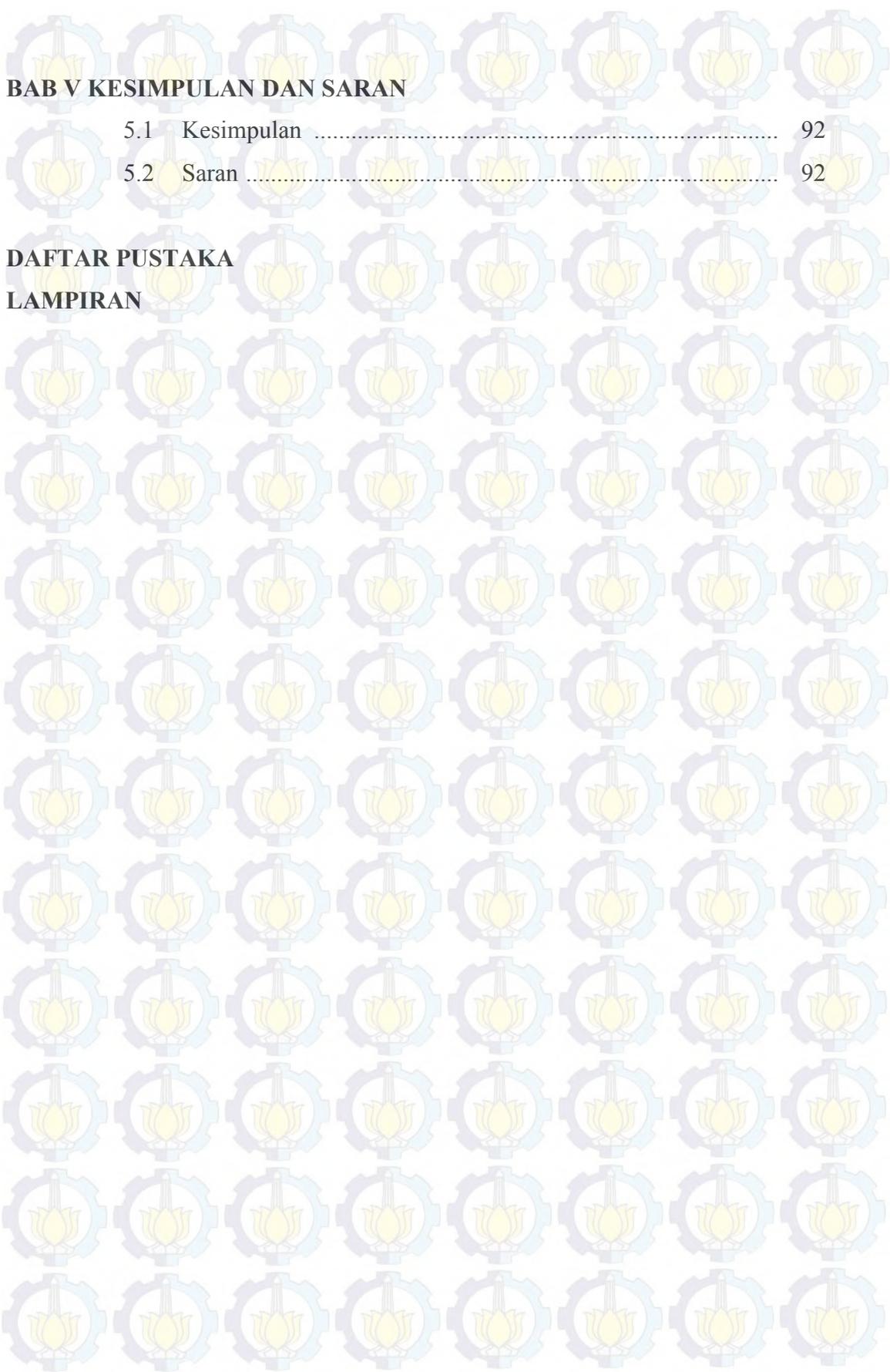
2.1.6 Pemilihan Stainless Steel sebagai Eletroda ..... 17

2.1.7 Katalisator ..... 19

2.2 Plat Pada Generator..... 20

2.3	Parameter Peforma Generator HHO .....	22
2.3.1	Daya yang dibutuhkan oleh generator HHO .....	22
2.3.2	Laju produksi gas HHO ( <i>mass flowrate</i> ) .....	23
2.3.3	Efisiensi generator HHO .....	24
2.4	<i>Internal Combustion Engine (ICE)</i> .....	27
2.5	Bahan Bakar Pertamina .....	28
2.6	Saat Pengapian dan Pembakaran di <i>Spark Ignition Engine</i> .....	30
2.7	Campuran Udara dan Bahan Bakar .....	32
2.7.1	Rasio udara-bahan bakar ( <i>air-fuel ratio/AFR</i> ).....	33
2.7.2	Rasio bahan bakar-udara ( <i>fuel air ratio/FAR</i> ) .....	33
2.7.3	Rasio ekivalen ( <i>equivalent ratio/<math>\Phi</math></i> ) .....	33
2.8	Parameter Unjuk Kerja .....	35
2.9	Parameter Peforma Mesin .....	36
2.9.1	Torsi .....	36
2.9.2	Daya.....	37
2.9.3	Tekanan efektif rata-rata .....	37
2.9.4	Efisiensi thermal .....	38
2.9.5	Konsumsi bahan bakar spesifik .....	38
2.10	Emisi Gas Buang Kendraan .....	39
2.10.1	Karbon monoksida .....	40
2.11	Penelitian Terdahulu .....	42
2.11.1	Stanley Mayer (1995) .....	42
2.11.2	Effect of HHO Gas on Combustion Emissions in Gasoline Engine .....	42
2.11.3	Pengaruh Penambahan Generator HHO dengan Variasi Rangkaian Generator HHO Seri dan Paralel Terhadap Unjuk Kerja Mesin Honda Supra X125 PGM-FI .....	47
2.11.4	Studi Karakteristik Generator Gas HHO Dry Cell dan Aplikasinya Pada Kendaraan Bermesin Injeksi 1300 cc .....	51
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>		
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian .....	54

3.2	Rancangan Penelitian .....	54
3.3	Desain dan Pembuatan Generator HHO <i>type day</i> .....	56
3.4	Proses Pemasangan atau Perangkaian Generator HHO <i>type day</i> ....	57
3.5	Peralatan dan Insrtumen Penelitian .....	58
3.5.1	Langkah persiapan pengukuran <i>flowrate gas HHO</i> .....	58
3.5.2	Langkah persiapan pemasangan alat uji .....	60
3.5.3	Proses kerja penambahan gas HHO dalam <i>engine</i> .....	61
3.5.4	Langkah persiapan pengujian aplikasi gas HHO pada sepeda motor .....	62
3.6	Prosedur Pengujian .....	64
3.6.1	Pengujian emisi gas buang .....	64
3.6.2	Pengujian <i>peformance mesin</i> .....	65
 <b>BAB IV PERHITUNGAN HASIL DAN ANALISA</b>		
4.1	Data Hasil Pengujian .....	67
4.1.1	Perhitungan <i>Peformance</i> generator HHO .....	67
4.1.2	Perhitungan <i>Sfc</i> .....	70
4.1.3	Perhitungan efisiensi thermal .....	71
4.1.4	Perhitungan BMEP .....	74
4.2	Analisis Peforma Generator HHO .....	75
4.2.1	Amper generator HHO .....	76
4.2.2	Waktu produksi generator HHO .....	77
4.2.3	Temperature generator HHO .....	78
4.2.4	Efisiensi generator HHO .....	79
4.3	Analisa Unjuk Kerja Terhadap Torsi dan Daya .....	79
4.4	Konsumsi Bahan Bakar Spesifik .....	83
4.5	Efisiensi Thermal .....	85
4.6	Tekanan Efektif Rata – rata .....	87
4.7	Analisa Gas Buang .....	88
4.7.1	Anlisa gas buang karbon monoksida .....	88
4.7.2	Anlisa gas buang karbon dioksida .....	90



**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1	Kesimpulan .....	92
5.2	Saran .....	92

**DAFTAR PUSTAKA**  
**LAMPIRAN**

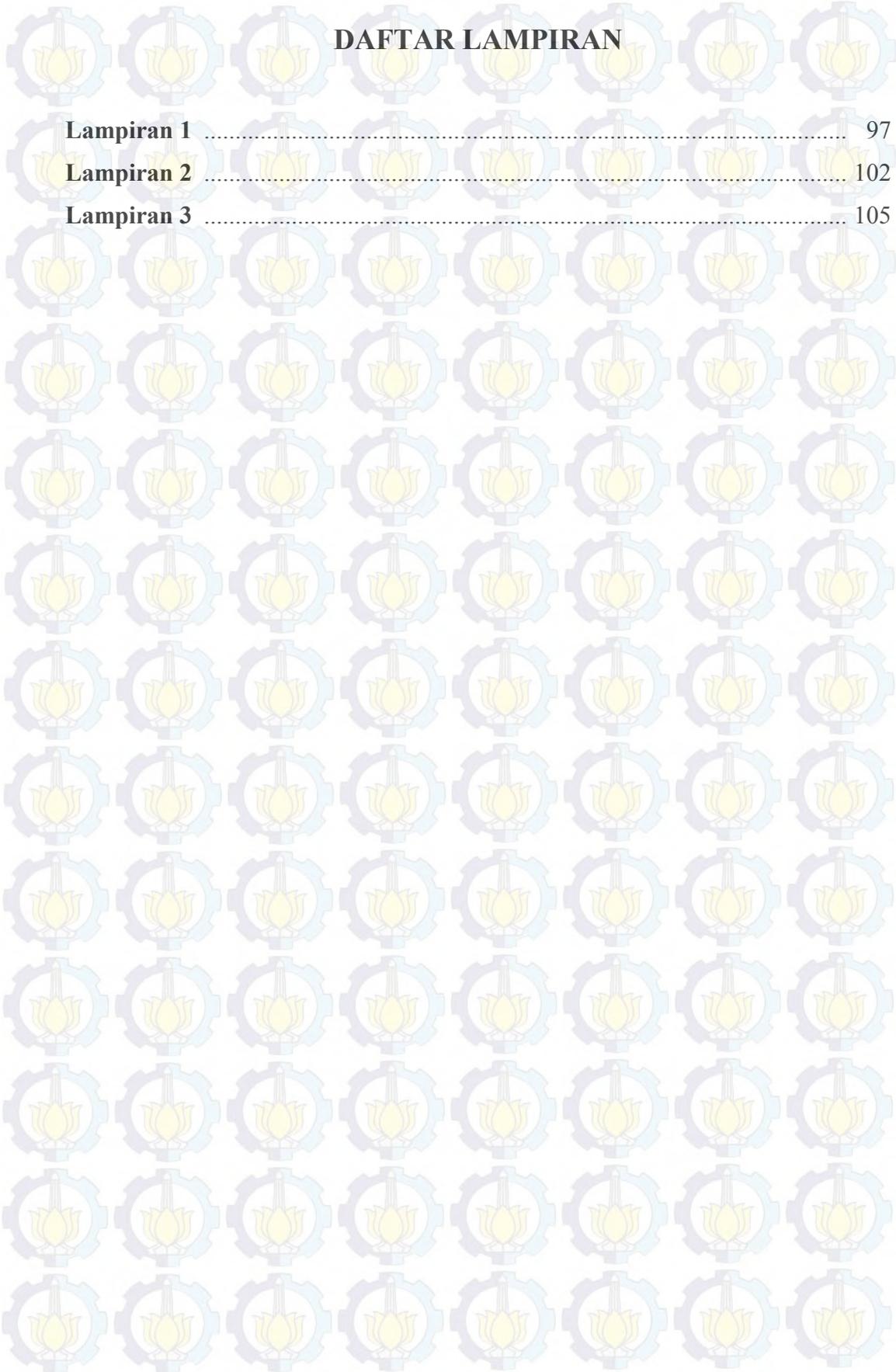
## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Keterangan umum unsur air .....	9
<b>Tabel 2.2</b>	Properties bahan bakar gasoline dengan <i>hydrogen</i> .....	10
<b>Tabel 2.3</b>	Perbandingan properti termokimia pada kondisi atmosfer.....	11
<b>Tabel 2.4</b>	Standar komposisi stainless steel .....	18
<b>Tabel 2.5</b>	Karakteristik kalium hidroksida (KOH) .....	20
<b>Tabel 2.7</b>	Data fisik dan kimiawi pertamax.....	29
<b>Tabel 3.1</b>	Alat dan bahan generator HHO tipei <i>dry</i> .....	57

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b>	Perkembangan konsumsi minyak bumi .....	1
<b>Gambar 2.1</b>	Proses pemecahan molekul air menjadi gas HHO.....	10
<b>Gambar 2.2</b>	Rangkaian dasar sistem elektrolisis .....	12
<b>Gambar 2.3</b>	Hubungan kosentrasi katalis KOH dan konduktifitas .....	13
<b>Gambar 2.4</b>	Generator HHO tipe basah .....	16
<b>Gambar 2.5</b>	Generator HHO tipe kering .....	17
<b>Gambar 2.6</b>	Hubungan reaksi kimia terhadap energi yang dibutuhkan .....	19
<b>Gambar 2.7</b>	2D plat positif, negatif dan netral .....	20
<b>Gambar 2.8</b>	Sisi plat anoda katoda penghasil hidrogen dan oksigen .....	21
<b>Gambar 2.9</b>	Sisi plat netral penghasil hidrogen dan oksigen .....	22
<b>Gambar 2.10</b>	Batasan campuran bensin dan udara.....	28
<b>Gambar 2.11</b>	Posisi saat pengapian .....	31
<b>Gambar 2.12</b>	Skema sistem pengujian gas HHO .....	36
<b>Gambar 2.13</b>	Sumber emisi gas buang kendaraan motor .....	39
<b>Gambar 2.14</b>	Tipikal kurva ketiga polutan utama .....	40
<b>Gambar 2.15</b>	Grafik hubungan lamda terhadap emisi CO .....	41
<b>Gambar 2.16</b>	Grafik CO vs engine speed .....	42
<b>Gambar 2.17</b>	Grafik NO (ppm) vs engine speed .....	43
<b>Gambar 2.18</b>	Grafik thermal efficiency and sfc vs engine speed .....	43
<b>Gambar 2.19</b>	Grafik Nox vs engine speed.....	44
<b>Gambar 2.20</b>	Variasi O <sub>2</sub> vs engine speed .....	45
<b>Gambar 2.21</b>	Variasi CO <sub>2</sub> vs engine speed .....	45
<b>Gambar 2.22</b>	Variasi HC vs engine speed .....	46
<b>Gambar 2.23</b>	Variasi temperature vs engine speed .....	46
<b>Gambar 2.24</b>	Variasi lamda vs engine speed.....	47
<b>Gambar 2.25</b>	Grafik torsi fungsi putaran.....	48
<b>Gambar 2.26</b>	Grafik Bhp fungsi putaran .....	48
<b>Gambar 2.27</b>	Grafik bmep fungsi putaran .....	49
<b>Gambar 2.28</b>	Grafik sfc fungsi putaran .....	49

<b>Gambar 2.29</b>	Grafik CO fungsi putaran .....	50
<b>Gambar 2.30</b>	Grafik HC fungsi putaran.....	50
<b>Gambar 2.31</b>	Grafik Voltase, arus dan laju produksi dengan KOH 20% .....	51
<b>Gambar 2.32</b>	Grafik Voltase, arus dan laju produksi dengan KOH 30% .....	51
<b>Gambar 2.33</b>	Grafik Voltase, arus dan laju produksi dengan KOH 40% .....	52
<b>Gambar 2.34</b>	Grafik konsumsi BBM fungsi putaran .....	52
<b>Gambar 2.35</b>	Grafik daya vs putaran .....	52
<b>Gambar 2.36</b>	Skema distribusi bahanbakar premium dan brown gas.....	53
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram alir penelitian ( <i>flow chart</i> ) .....	55
<b>Gambar 3.2</b>	Ukuran plat anoda dan katoda .....	56
<b>Gambar 3.3</b>	Ukuran plat netral .....	57
<b>Gambar 3.4</b>	Cara memasang generator HHO .....	58
<b>Gambar 3.5</b>	Skema pengujian generator HHO .....	59
<b>Gambar 3.6</b>	Skema kabel menggunakan plat netral generator HHO .....	59
<b>Gambar 3.7</b>	Skema pemasangan aplikasi generator HHO .....	61
<b>Gambar 3.8</b>	Skema instrumen penelitian .....	62
<b>Gambar 4.1</b>	Grafik amper generator HHO .....	76
<b>Gambar 4.2</b>	Waktu produksi generator HHO .....	77
<b>Gambar 4.3</b>	Temperatur generator HHOI .....	78
<b>Gambar 4.4</b>	Efisiensi generator HHO .....	79
<b>Gambar 4.5</b>	Torsi vs rpm .....	80
<b>Gambar 4.6</b>	Daya vs rpm .....	81
<b>Gambar 4.7</b>	Sfc rata-rata vs rpm .....	84
<b>Gambar 4.8</b>	Efisiensi thermal vs rpm .....	86
<b>Gambar 4.9</b>	Tekanan efektif rata-rata .....	87
<b>Gambar 4.10</b>	Grafik CO vs rpm .....	88
<b>Gambar 4.11</b>	Grafik oksigen vs rpm .....	90
<b>Gambar 4.12</b>	Grafik CO <sub>2</sub> vs rpm.....	90



## DAFTAR LAMPIRAN

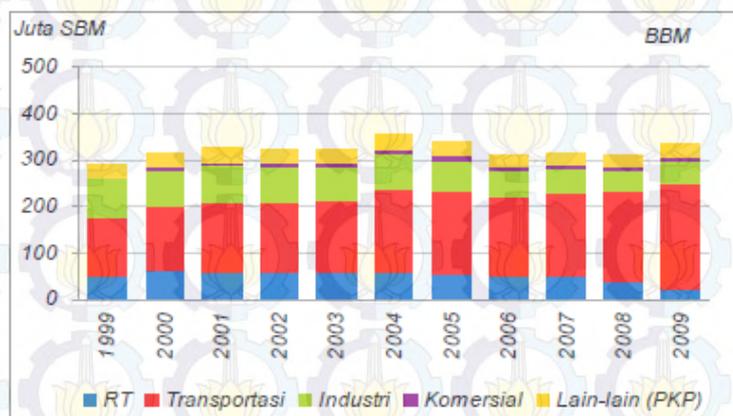
<b>Lampiran 1</b> .....	97
<b>Lampiran 2</b> .....	102
<b>Lampiran 3</b> .....	105

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Permintaan akan Bahan Bakar Minyak (BBM) terus meningkat dari tahun ke tahun, mengingat sampai saat ini minyak bumi merupakan sumber utama energi nasional. Khususnya pada dunia otomotif yang masih menggantungkan konsumsi energinya pada BBM. Data yang dikeluarkan oleh *BP Statistical Review of World Energy* dalam *Energy in 2012 – adapting to a changing world*, total konsumsi minyak bumi Indonesia pada tahun 2012 sebesar *1565 Thousand barrels daily*. Konsumsi sumber energi lainnya seperti batu bara 136,54 BOE dan Gas 86,90 BOE.

Sektor transportasi menempati posisi nomor satu terbesar dalam konsumsi bahan bakar minyak nasional, di ikuti sektor industri dan sektor rumah tangga. Setiap tahun semua sektor pengguna bahan bakar minyak pada sektor transportasi terus meningkat secara signifikan sedangkan cadangan bahan bakar minyak nasional tidak mampu memenuhi energi dalam negeri. Lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik Gambar 1.1 di bawah ini:



Gambar 1.1 Perkembangan konsumsi minyak bumi  
(Pusdatin ESDM, 2010)

Seiring dengan meningkatnya konsumsi sumber energi, emisi polutan yang dihasilkan dari pembakaran juga akan meningkat dan sangat berbahaya bagi pemanasan global, kesehatan manusia, hewan, tumbuhan (kelestarian

lingkungan). Menurut Swisscontact (2001:3) gas buang kendaraan bermotor terdiri atas zat yang tidak beracun, seperti: nitrogen ( $N_2$ ), karbondioksida ( $CO_2$ ), dan uap air ( $H_2O$ ) dan zat beracun seperti: karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), oksida nitrogen ( $NO_x$ ), sulfur oksida ( $SO_x$ ), zat debu timbal (Pb), dan partikulat.

Pemerintah melakukan beberapa metode pengembangan kebijakan energi yang terkoordinasi salah satunya adalah diversifikasi BBM ke bahan bakar gas sebagai upaya mengurangi besaran subsidi pemerintah untuk BBM. Perpindahan penggunaan BBM ke bahan bakar gas merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang aman, bersih, andal, murah menghasilkan emisi lebih sedikit dibandingkan bensin serta untuk meningkatkan ketahanan energi nasional baik jangka pendek maupun jangka panjang berdasarkan Perpres No. 64 Tahun 2012 tentang Penyediaan, Pendistribusian, dan Penetapan Harga Bahan Bakar Gas Untuk Transportasi Jalan.

Kegiatan transportasi merupakan peranan terpenting untuk memobilisasi kegiatan ekonomi dan aspek kehidupan lainnya ternyata membutuhkan bahan bakar terbanyak. Kegiatan transportasi juga menyumbangkan polusi udara dari hasil emisi gas buang kendaraan juga terbesar dibanding kegiatan lainnya. Maka secara kuantitas BBM harus terus dikembangkan, dan secara kualitas juga harus ditingkatkan terutama meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar dan meningkatkan kualitas emisi gas buang yang ramah lingkungan. Telah banyak dikembangkan berbagai bahan bakar alternatif diantaranya biodiesel untuk bahan bakar mesin diesel, dan bioethanol untuk bahan bakar mesin bensin.

Di Indonesia perkembangan dan penggunaan biodiesel dan bioethanol masih belum optimal karena beberapa faktor diantaranya adalah sumber bahan bakunya belum memadai secara kuantitas dan kualitas, sebagian dari bahan bakunya adalah bahan pangan yang masih mungkin mengganggu ketersediaan bahan pangan, dan peraturan tentang kualitas emisi belum seketat di negara lain, serta kesiapan dari segi budi daya, kesiapan teknologi proses, kesiapan sarana-prasarana pemasaran termasuk kesiapan masyarakatnya masih belum memadai. Bahan bakar gas seperti LPG dan CNG telah juga banyak dikembangkan sebagai bahan bakar alternatif untuk pengganti BBM. Converter untuk merubah

penggunaan minyak ke gas sudah juga banyak dikembangkan. Di Indonesia penggunaan bahan bakar gas ini sebagai bahan alternatif masih juga mengalami kendala diantaranya ketersediaan gas yang terbatas, ketersediaan infrastruktur seperti SPBU untuk gas sangat terbatas, konverter masih cukup mahal karena masih import, dan jaminan keamanan yang masih dikawatirkan oleh masyarakat karena gas dengan tekanan tinggi dikawatirkan meledak.

Yull Brown seorang warga negara Australia pada tahun 1974 telah mendapatkan paten dari hasil proses elektrolisis dari air menghasilkan gas  $H_2$  dan  $O_2$  yang diberi nama "Brown Gas" yang dapat digunakan untuk menggerakkan mesin kendaraan. Pada tahun 1980 sampai 1998, Stanley Meyer yang berasal dari kota Ohio juga telah mengembangkan bahan bakar gas yang dihasilkan dengan elektrolisis air yang digunakan untuk menggerakkan mesin kendaraan. Di Indonesia pada akhir-akhir ini sudah mulai dikembangkan yaitu dengan mencampurkan brown gas yang didapat dari elektrolisis air, dengan bahan bakar pada mesin bensin dengan carburator dan ternyata dapat meningkatkan tenaga, mengurangi pemakaian bahan bakar, serta memperbaiki kualitas emisi gas buang. Memanfaatkan brown gas ini masih secara sederhana, belum terkontrol baik, masih hanya untuk mesin bensin dengan karburator. Namun dari kajian awal tersebut terlihat brown gas mempunyai prospek sangat baik dalam usaha mengurangi konsumsi bahan bakar untuk mesin bensin dan mesin diesel, meningkatkan kinerja mesin, dan memperbaiki kualitas emisi gas buang mesin. Menurut para pemakai yaitu dari perkumpulan penggemar otomotif, dengan menggunakan brown gas dari elektrolisis air ternyata dapat menghemat pemakaian bahan bakar (sebagai contoh suatu kendaraan) dari jarak tempuh 12 km/liter menjadi 18 km pada kendaraan bensin dan mencapai 23 km/liter untuk kendaraan solar.

Pada penelitian Sa'ed A. Musmar dan Ammar A. Al-Rousan penambahan bahan bakar gas HHO dengan generator *type wet* pada *engine* kandungan nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen oksida (NOx) berkurang 50%, karbon monoksida ( $CO_2$ ) berkurang 20%. Juga pengurangan konsumsi bahan bakar 20% dan 30%. Penelitian Ali Can Yilmaz, Erinc, Uludamar, Kadir Aydin menghasilkan peningkatan torsi mesin dengan rata-rata 19,1%, mengurangi emisi CO rata-rata 13,5%, emisi HC sebesar rata-rata 5% dan SFC dengan rata-rata 14%. Dendy

Widyantara (2011) Teknik Mesin ITS Generator rangkaian seri HHO menyebabkan kenaikan daya sebesar 19%, torsi sebesar 15%, bmep sebesar 18% dan penurunan Sfc sebesar 25%. Sedangkan pada variasi generator HHO rangkaian parallel menyebabkan kenaikan daya sebesar 14%, torsi sebesar 11%, dan bmep sebesar 14% ; penurunan Sfc sebesar 20%. Terjadi penghematan bahan bakar dan mengurangi emisi gas buang pada kendaraan motor otto.

Berdasarkan penelitian di atas peneliti tertarik melakukan penelitian untuk mengetahui unjuk kerja pemakaian bahan bakar gas hidrogen dengan menggunakan kaburator sistem vakum terhadap kadar emisi gas buang dan *performance* mesin sepeda motor 150 cc. Perbandingan kompresi rasio pada engine sepeda motor 150 adalah 9,5 : 1. Pada *engine* yang mempunyai kompresi tinggi sangat sesuai menggunakan bahan bakar bernilai oktan tinggi untuk menghindari terjadinya detonasi atau *knocking* pada saat proses pembakaran. Menurut Djoko Sungkono (2013) penyebab yang ditimbulkan oleh detonasi diantaranya: Suara bising akibat tekanan yang tinggi, kerusakan mekanis pada piston, *pre-ignition* serta penurunan daya dan efisiensi. Bahan bakar gas hidrogen mempunyai nilai oktan yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar standar sepeda motor 150 cc (premiun jenis Pertamina) yaitu sebesar 130 ni lai oktan.

Untuk menghasilkan gas hidrogen peneliti menjadikan air murni (aquades) sebagai bahan utama penghasil gas hidrogen dengan cara elektrolisis yang dikenal dengan gas HHO. Generator HHO yang digunakan generator tipe *dry*, generator tipe *dry* sangat sesuai digunakan pada kendaraan yang berkapasitas kecil seperti sepeda motor, ini dikarenakan *design* yang lebih efektif, efisien dalam penggunaannya dan menghasilkan *performance* yang bagus. Dari penelitian menggunakan generator tipe *dry* ini diharapkan bisa dimanfaatkan dalam penggunaan langsung pada sepeda motor dengan *performance* yang lebih bagus (meningkatkan *performance*) dan mengurangi emisi gas buang yang ramah lingkungan.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka dirumuskan permasalahan dari penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh penambahan bahan bakar gas HHO dengan menggunakan generator HHO tipe *dry* terhadap kadar emisi gas buang bila dibandingkan dengan pemakaian bahan bakar standar pertamax jenis (RNO 91) pada mesin sepeda motor 4 langkah?
2. Bagaimana pengaruh penambahan bahan bakar gas HHO dengan menggunakan generator HHO tipe *dry* terhadap *performance* mesin bila dibandingkan dengan pemakaian bahan bakar standar pertamax jenis (RON 91) pada mesin sepeda motor 4 langkah?

## 1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini bersifat eksperimental murni. Untuk itu pengujian yang dilakukan tidak terlalu melebar dari tujuan yang hendak dicapai. Oleh karenanya ditentukan batasan masalah, antara lain:

1. Bahan bakar yang digunakan jenis pertamax (RNO 91) yang ada di pasaran produksi Pertamina
2. Hasil percobaan hanya pada sepeda motor Honda New MegaPro 150 cc
3. Kondisi engine dalam keadaan standar
4. Unjuk kerja yang diukur yaitu torsi, daya, tekanan efektif rata-rata, konsumsi bahan bakar spesifik, efisiensi thermal dan emisi gas buang.
5. Emisi gas buang berupa karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan oksigen (O<sub>2</sub>)
6. Tidak membahas reaksi elektrolisa dan reaksi kimia dari proses generator HHO secara detail.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Ada pun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini yaitu :

1. Untuk mengetahui pengaruh penambahan bahan bakar gas HHO dengan menggunakan generator HHO tipe *dry* terhadap kadar emisi gas buang bila

dibandingkan dengan pemakaian bahan bakar standar pertamax jenis (RNO 91) pada mesin sepeda motor Honda New MegaPro 150 cc?

2. Untuk mengetahui pengaruh penambahan bahan bakar gas HHO dengan menggunakan generator HHO tipe *dry* terhadap *performance* mesin bila dibandingkan dengan pemakaian bahan bakar standar pertamax jenis (RON 91) pada mesin sepeda motor Honda New MegaPro 150 cc?

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengembangan penelitian indonesia
2. Mendayagunakan energi alternatif yang efektif, efisien dan berdaya guna, yaitu pemampatan air dengan cara eletrolisasi agar menghasilkan bahan kabar hidrogen.
3. Memberikan informasi dalam mendukung program pemerintah dalam usaha penghematan bahan bakar minyak pada kendaraan dengan menggunakan generator HHO
4. Memberikan informasi kepada pemilik sepeda motor Honda New MegaPro 150 cc dengan penambahan bahan bakar gas HHO dapat meningkatkan peforma engine dan hemat bahan bakar
5. Sebagai solusi alternatif terhadap masalah pencemaran udara khususnya emisi gas buang sepeda motor.

### 1.6 Metode penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah *laboratory experimental comparasion* yaitu penelitian dilakukan dengan melakukan pengujian hasil produksi gas HHO pada generator secara laboratorium. Aplikasi pengujian pada sepeda motor Honda New MegaPro 150 cc dengan penambahan bahan bakar gas HHO.

## 1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut :

### 1. BAB I PENDAHULUAN

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

### 2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

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

### 3. BAB III METODE PENELITIAN

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

### 4. BAB IV PERHITUNGAN DAN ANALISIS

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

### 5. BAB V PENUTUP

Pada bagian ini berisi kesimpulan hasil analisis penelitian serta saran untuk penelitian selanjutnya.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Air Sebagai Sumber Energi

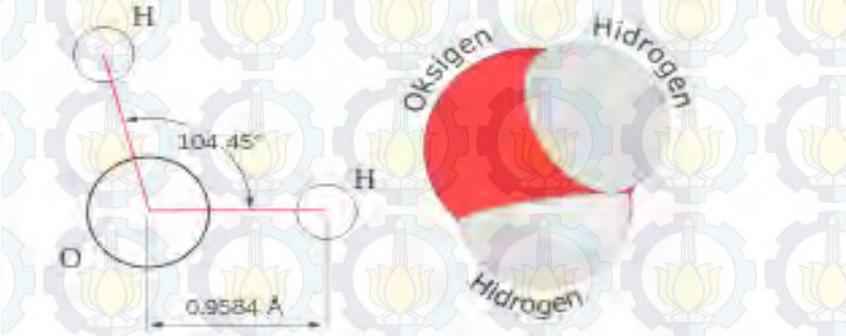
Air adalah senyawa yang penting bagi semua bentuk kehidupan yang diketahui sampai saat ini di Bumi, tetapi tidak di planet lain. Air menutupi hampir 70% permukaan Bumi. Terdapat 1,4 t riliun kilometer kubik (330 juta mil<sup>3</sup>) tersedia di Bumi. Air memiliki rumus kimia air H<sub>2</sub>O yakni satu molekul air tersusun atas dua atom hidrogen yang terikat secara kovalen pada satu atom oksigen. Air bersifat tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau pada kondisi standar, yaitu pada tekanan 100 Kpa (1 bar) dan temperatur 273,15 K (0°C). Air dapat berwujud padatan (es), cairan (air) dan gas (uap air). Zat kimia ini merupakan suatu pelarut yang penting, yang memiliki kemampuan untuk melarutkan banyak zat kimia lainnya, seperti garam-garam, gula, asam, beberapa jenis gas dan banyak macam molekul organik.

Jika air dipanaskan akan berubah bentuk menjadi uap air atau gas dengan simbol H<sub>2</sub>O<sub>(g)</sub>. Jika air dipecah dengan menggunakan energi yang sesuai, maka akan terurai menjadi gas H<sub>2(g)</sub> dan gas O<sub>2(g)</sub>. Gas yang keluar ketika air dipanaskan bukan gas hidrogen. Banyak orang berkata, jika air dipanaskan sampai mendidih akan menghasilkan gas hydrogen, pendapat itu salah. Air hanya dapat dipecah menjadi gas hidrogen dan gas oksigen (sebagai bahan penyusunnya) dengan teknik tertentu. Banyak teknik untuk memecah air menjadi gas H<sub>2(g)</sub> dan gas O<sub>2(g)</sub> yaitu dengan menggunakan energi nuklir dan elektrolisis. Cara elektrolisis ini sangat mungkin dilakukan, karena selain aman, cara ini juga mudah untuk dilakukan. Elektrolisis yaitu proses yang memerlukan energi listrik untuk terjadinya reaksi kimia, seperti penguraian air menjadi gas hidrogen dan gas oksigen.

Gas hidrogen banyak tersedia di air sehingga bukan menjadi masalah untuk pemanfaatan air sebagai bahan bakar alternatif. Fokus penelitian pemanfaatan air sebagai bahan bakar alternatif adalah proses untuk mendapatkan gas hidrogen dari

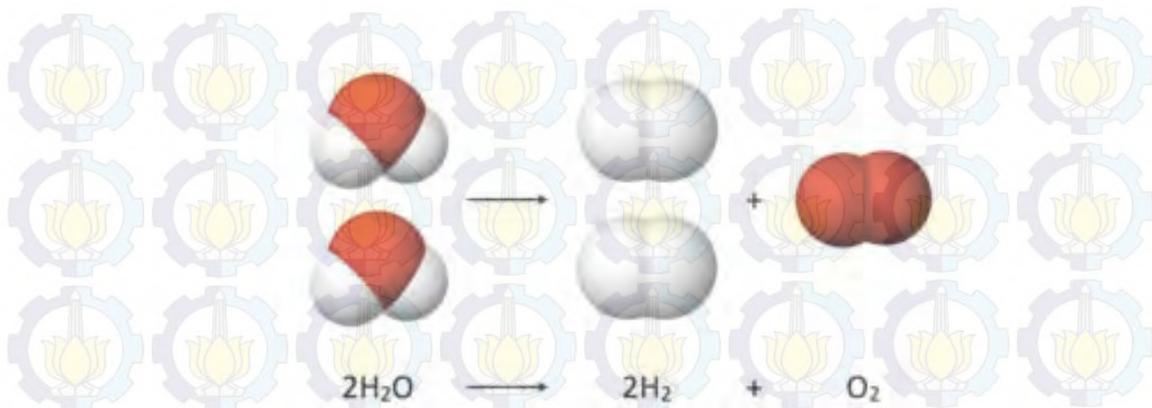
air. Secara kimia air sangat mungkin diuraikan untuk mendapatkan gas hidrogen. Namun cara ini memerlukan pengetahuan tentang elektrolisis. Pada Tabel 2.1 dapat dilihat sifat dan unsur air.

**Tabel 2.1** Keterangan umum unsur air

Air	
	
Informasi dan sifat-sifat	
Nama sistematis	Air
Nama alternatif	Aqua, dihidrogen monoksida, Hidrogen hidroksida
Rumus molekul	H <sub>2</sub> O
Massa molar	18.0153g/mol
Densitas dan fase	0.998 g/cm <sup>3</sup> (cairan pada 20°C) 0.92 g/cm <sup>3</sup> (padatan)
Titik lebur	0 °C (273.15 <sup>0</sup> K) (32 <sup>0</sup> F)
Titik didih	100 °C (373.15 <sup>0</sup> K) (212 <sup>0</sup> F)
Kalor Spesifik	4184 J/(kg.K) (cairan pada 20°C)

### 2.1.1 Brown's Gas (Hidrogen Hidrogen Oksida, HHO)

*Brown Gas* merupakan gas hasil dari proses pemecahan air murni (H<sub>2</sub>O) dengan proses elektrolisis. Gas yang dihasilkan dari proses elektrolisis air tersebut adalah gas Hidrogen dan Oksigen, dengan komposisi 2 Hidrogen dan 1 Oksigen (HHO) (Lowrie, Peter E.W. 2005). Oleh karena itu Brown's gas juga lebih dikenal dengan nama gas HHO, selain itu gas HHO juga dikenal dengan sebutan oxy-hydrogen. Pada Gambar 2.1 di bawah ini dapat dilihat pemecahan molekul air menjadi gas HHO



**Gambar 2.1** Proses pemecahan molekul air menjadi gas HHO

Teknologi untuk memecah molekul air menjadi gas HHO dengan cara elektrolisis air sebenarnya telah ditemukan sejak tahun 1800 oleh William Nicholson dan Johann Ritter. Kemudian pada tahun 1805, Isaac de Rivaz (1752-1828) menggunakan gas hidrogen dari hasil elektrolisis air sebagai bahan bakar mesin pembakaran internal yang ia rancang dan ia buat sendiri (Hidayatullah, P dan Mustari, F. 2008). Pada saat itu bahan bakar fosil belum ditemukan. Namun gas hasil dari elektrolisis air tersebut baru diberi nama dan dipatenkan oleh Dr. Yull Brown, pada tahun 1974. Gas hasil dari elektrolisis air tersebut diberi nama *Brown gas*. Selain menggunakannya sebagai suplemen bahan bakar pada mesin, Dr. Yull Brown juga menggunakan *brown gas* untuk pengelasan (*cutting and welding torch*). Pada prinsipnya air memang dapat diubah menjadi hidrogen dengan teknik elektrolisis dan gas hidrogen digunakan sebagai bahan bakar. Gas hidrogen sangat mudah terbakar dan akan terbakar pada konsentrasi serendah 4% H<sub>2</sub> di udara bebas. Hidrogen terbakar menurut persamaan kimia:



Berikut ini perbandingan properties bahan bakar gasoline dengan *hydrogen* yang dapat dilihat pada Tabel 2.2 .

**Tabel 2.2** Perbandingan properties bahan bakar gasoline dengan *hydrogen*

The properties of hydrogen		
Properties	Unleaded gasoline	Hydrogen
Autoignition temperature (K)	533 – 733	858
Minimum ignition energy (mJ)	0.24	0.02
Flammability limits (volume % in air)	1.4 - 7.6	4 - 75
Stoichiometric air-fuel ratio on mass basis	14.6	34.3
Limits of flammability (equivalence ratio)	0.7 - 3.8	0.1 – 7.1

Density at 16 °C and 1.01 bar (kg/m <sup>3</sup> )	721 - 785	0.0838
Net heating value (MJ/kg)	43.9	119.93
Flame velocity (cm/s)	37 - 43	265 - 325
Quenching gap in NTP air (cm)	0.2	0.064
Diffusivity in air (cm <sup>2</sup> /s)	0.08	0.63
Research octane number	92 - 98	130
Motor octane number	80 - 90	-
Flashpoint	Approximately -45 °F (-43 °C; 230 K)	< -423 °F (< - 253 °C; 20 K)

Sumber : International journal of hydrogen energy 35 (Ali Can Yilmaz, Erinc, Uludamar, Kadir Aydin 2010) 11366 - 11372 dan hydrogen fuel cell engines and related technologies: Rev 0, December 2001

Ketika hidrogen dicampur dengan oksigen dalam berbagai perbandingan akan meledak ketika diberi api dan akan meledak sendiri pada temperatur 858 K. Pada Tabel 2.2 memperlihatkan properties hidrogen pada temperatur 25°C 1 atm. Adapun perbandingan nilai energi yang dimiliki oleh hidrogen paling besar diantara *gas fuel* yang lain, seperti pada Tabel 2.3

**Tabel 2.3** Perbandingan nilai properti termokimia pada kondisi atmosfer.

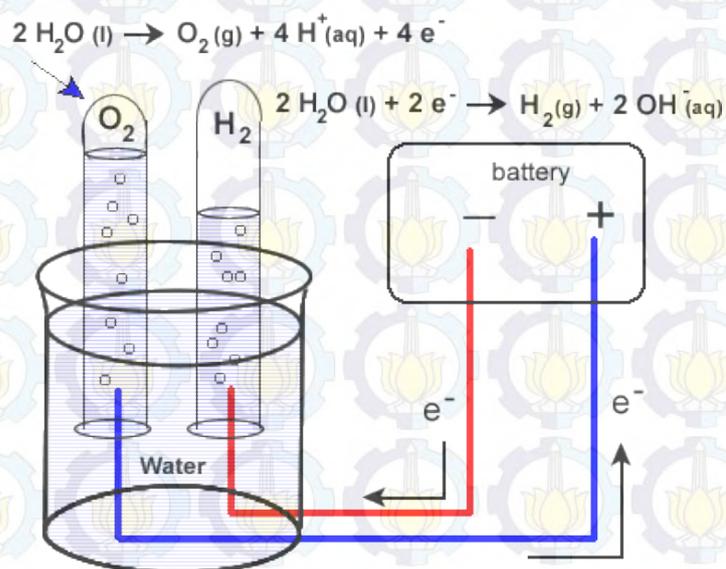
**TABLE A-25** Thermochemical Properties of Selected Substances at 298K and 1 atm

Substance	Formula	Molar Mass, <i>M</i> (kg/kmol)	Enthalpy of Formation, $\bar{h}_f^\circ$ (kJ/kmol)	Gibbs Function of Formation, $\bar{g}_f^\circ$ (kJ/kmol)	Absolute Entropy, $\bar{s}^\circ$ (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

**Sumber :** Based on JANAF Thermochemical Tables, NSRDS-NBS-37, (1971) ; *Selected Value Note 270-3*, 1968 ; and *API Research Project 44*, Carnegie Press, 1953. Heating values calculated.

### 2.1.2 Elektrolisis

Elektrolisis adalah suatu proses pemecahan senyawa kimia tertentu menjadi suatu molekul baru dengan bantuan arus listrik dan dua elektroda. Dimana arus listrik tersebut dialirkan pada elektroda positif (anoda) dan elektroda negatif (katoda). Untuk mempercepat reaksi elektrolisis diperlukan adanya elektrolit sebagai katalis. Elektrolisis menimbulkan reaksi redoks dan banyak zat yang dihasilkan berbanding lurus dengan jumlah muatan listrik yang mengalir dalam sel elektrolisis. Berikut ini rangkaian dasar sistem elektrolisis yang dapat dilihat pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Rangkaian Dasar Sistem Elektrolisis

Pada Gambar 2.2 di atas dapat dilihat bahwa untuk melakukan proses elektrolisa hanya membutuhkan 4 kom ponen utama yaitu baterai, elektroda, elektrolit dan bejana air.

### 2.1.3 Sistem elektrolisa air

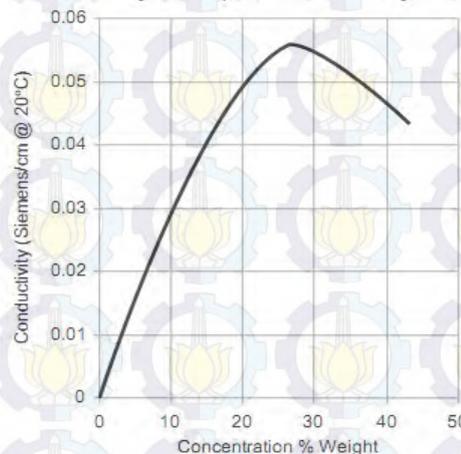
Proses elektrolisa air adalah penguraian  $2\text{H}_2\text{O}$  menjadi  $\text{H}_2$  dan  $\text{O}_2$  dengan bantuan elektroda yang diberi tegangan listrik. Faktor yang mempengaruhi elektrolisa antara lain adalah :

### a. Energi penguraian air

Secara konvensional diperlukan energi sebesar 286 kJ untuk menghasilkan 1 mol hidrogen ( $H_2$ ) atau 2 gr  $H_2$  sama dengan 24.287 liter  $H_2$ , sehingga untuk membuat 1 kg  $H_2$  diperlukan 39.72 kWh (Archer Energy System, Inc.) 1 kg  $H_2$  setara dengan energi 1 galon/3.78541 liter gasoline. Pada laporan eksperimen Global Hydrogen Inc. disebutkan 4 kg hidrogen mampu menggerakkan kendaraan sejauh 270 mil.

### b. Penggunaan katalisator

Katalisator misalnya KOH,  $H_2SO_4$  dan lain-lain berfungsi mempermudah proses penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen karena ion-ion katalisator mampu mempengaruhi kestabilan molekul air menjadi ion H dan OH yang lebih mudah di elektrolisis. Dengan kata lain energi untuk menguraikan air menjadi lebih rendah. Tampak pada Gambar 2.3 grafik di bawah ini bahwa konduktifitas listrik tertinggi sekitar 27 %.



**Gambar 2.3** Hubungan Konsentrasi Katalis KOH dan Konduktifitas Listrik (pyle,dkk,1994)

### c. Frekuensi

Material yang dioperasikan pada frekuensi yang sama dengan frekuensi natural material tersebut akan lebih cepat rusak karena beresonansi. Demikian juga yang dialami air jika diberikan frekuensi tertentu (pada percobaan Stanley Meyer frekuensi yang dipakai adalah 43430 Hz dan 143762 Hz) mampu menguraikan air dengan energi listrik yang lebih rendah.

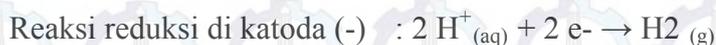
#### d. Tegangan dan arus elektrolisa

Besar tegangan dan arus listrik berbanding lurus dengan banyak gas yang dihasilkan, karena terkait dengan kesetimbangan energi dalam proses elektrolisa. Pada umumnya elektroda yang dipakai pada generator HHO seperti platinum dan stainless steel mempunyai resistansi sehingga tegangan yang harus diberikan lebih dari 1,48 V olt. Intensitas arus pada elektroda adalah sebesar  $0,4 \text{ mA/cm}^2$ , jika intensitas dinaikkan akan memberi peluang korosi pada elektroda.

#### 2.1.4 Proses elektrolisa air untuk memproduksi gas HHO

Elektrolisis adalah suatu proses untuk memisahkan senyawa kimia menjadi unsur-unsurnya atau memproduksi suatu molekul baru dengan memberi arus listrik. Sedangkan elektrolisis air adalah proses elektrolisa yang dimanfaatkan untuk memecah molekul air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) menjadi Hidrogen ( $\text{H}_2$ ) dan Oksigen ( $\text{O}_2$ ). Elektrolisis air pada dasarnya dilakukan dengan mengalirkan arus listrik ke air melalui dua buah elektroda (Katoda dan Anoda). Agar proses elektrolisa dapat terjadi dengan cepat maka air tersebut dicampur dengan elektrolit sebagai katalis seperti ditunjukkan Gambar 2.3.

Proses elektrolisis air dapat terjadi dengan setengah reaksi asam ataupun basa ataupun keduanya. Terjadinya reaksi asam ataupun basa tergantung oleh kondisi lingkungan atau jenis elektrolit yang digunakan (*Dopp, R.B.2007*). Jika elektrolit yang digunakan berupa larutan asam seperti HCl dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  maka reaksi yang terjadi adalah reaksi asam. Pada reaksi ini reaksi reduksi terjadi pada elektroda negatif (katoda), dimana elektron ( $e^-$ ) dari katoda diikat oleh kation  $\text{H}^+$



Jika elektrolit yang digunakan adalah larutan basa seperti KOH, NaOH (basa dari golongan periode IA, alkali tanah) maka akan terjadi reaksi basa. Pada reaksi basa, reaksi reduksi terjadi di katoda dimana molekul air mengikat elektron ( $e^-$ ) sehingga terpecah menjadi gas Hidrogen ( $\text{H}_{2(g)}$ ) dan anion  $\text{OH}^-$ . Anion  $\text{OH}^-$

tersebut kemudian tertarik kesisi anoda dan terpecah menjadi gas oksigen dan molekul  $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$ , sebagaimana dapat dilihat pada persamaan reaksi kimia berikut :



Tetapi jika elektrolit yang digunakan dari jenis garam seperti NaCl, KCl, dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , maka akan terjadi reaksi asam dan basa. Dari kedua reaksi asam ataupun basa dapat dilihat bahwa pada kedua reaksi tersebut produk yang dihasilkan dari elektrolisa 2 mol  $\text{H}_2\text{O}$  memiliki komposisi yang sama yaitu 2 mol gas Hidrogen dan 1 mol gas Oksigen. Pada kedua jenis reaksi diatas gas Hidrogen juga dihasilkan pada elektroda negatif (katoda) dan gas oksigen dihasilkan pada elektroda positif (anoda).

#### a. Entalpi penguraian gas $\text{H}_2\text{O}$

Reaksi suatu zat dengan oksigen disebut *reaksi pembakaran*. Zat yang mudah terbakar adalah unsur karbon, hidrogen, belerang, dan berbagai senyawa dari unsur tersebut. Contoh pembakaran dikatakan sempurna apabila karbon (C) terbakar menjadi  $\text{CO}_2$ , hidrogen (H) terbakar menjadi  $\text{H}_2\text{O}$ , belerang (S) terbakar menjadi  $\text{SO}_2$ .

Perubahan entalpi pada pembakaran sempurna 1 mol suatu zat yang diukur pada  $298^\circ\text{K}$ , 1 atm disebut *entalpi pembakaran standar* (standard enthalpy of combustion), yang dinyatakan dengan  $\Delta H_c^0$ . Entalpi pembakaran juga dinyatakan dalam  $\text{kJ mol}^{-1}$ . Pada reaksi penguraian  $\text{H}_2\text{O}$  adalah kebalikan dari reaksi pembentukan. Oleh karena itu, sesuai dengan azas kekekalan energi, nilai entalpi penguraian sama dengan entalpi pembentukannya, tetapi tandanya berlawanan. Harga entalpi pembakaran dari berbagai zat pada 298 K, 1 atm diberikan pada lampiran E.

#### b. Manfaat Hidrogen

Hidrogen digunakan dalam proses penghasilan methanol, ammonia dan klorida. Hidrogen juga pernah digunakan sebagai bahan bakar kapal udara, tetapi sifatnya yang mudah meledak apabila bercampur dengan oksigen dan terkena api menyebabkan hidrogen digantikan dengan gas helium. Hidrogen layak

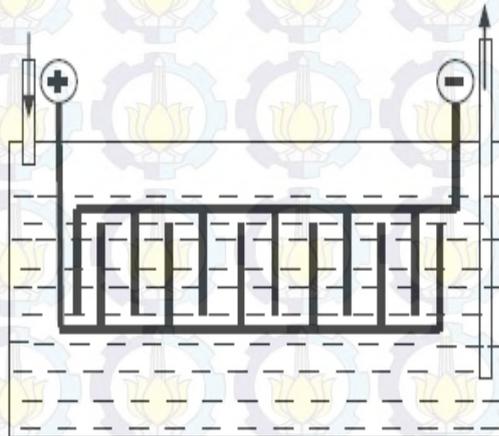
dikembangkan, karena memenuhi dua kriteria yaitu mampu mendorong teknologi ramah lingkungan dan banyak terdapat di alam. Hidrogen bukan teknologi milik suatu negara saja, karena di hampir semua negara maju terlibat dalam pengembangannya.

### 2.1.5 Tipe Generator Brown's Gas (HHO)

Generator HHO dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu generator HHO tipe basah (wet type) dan generator HHO tipe kering (dry type/Dry cell).

#### a. Generator HHO tipe basah (wet type)

Generator HHO tipe basah (wet type) adalah sebuah generator HHO dimana elektroda-elektrodanya terendam elektrolit.



**Gambar 2.4** Generator HHO tipe basah (wet type / wet cell)

#### b. Generator HHO tipe kering (dry type/dry cell)

Generator HHO tipe kering (dry type/dry cell) adalah sebuah generator HHO dimana elektroda-elektrodanya tidak terendam elektrolit atau elektroda elektrodaya tidak berada didalam sebuah bejana elektrolit. Elektrolit pada generator ini hanya berisi pada celah-celah antara elektrodanya. Pada Gambar 2.5 bisa dilihat generator HHO tipe kering.



**Gambar 2.5** Generator HHO tipe Kering (dry type/dry cell)

Pada penelitian ini peneliti menggunakan generator HHO tipe kering (dry type).

### **2.1.6 Pemilihan stainless steel sebagai elektroda**

Elektroda merupakan salah satu komponen yang sangat penting pada proses elektrolisis air. Elektroda berfungsi sebagai penghantar arus listrik dari sumber tegangan ke air yang akan dielektrolisis. Pada elektrolisis yang menggunakan arus DC, elektroda terbagi menjadi dua kutub yaitu positif sebagai anoda dan negatif sebagai katoda. Material serta luasan elektroda yang digunakan sangat berpengaruh terhadap gas HHO yang dihasilkan dari proses elektrolisis air. Sehingga material elektroda harus dipilih dari material yang memiliki konduktifitas listrik dan ketahanan terhadap korosi yang baik.

Walaupun titanium dan logam mulia seperti emas dan platina memiliki nilai konduktifitas dan ketahanan terhadap korosi yang tinggi namun keberadaannya di pasaran sangat terbatas sehingga harganya menjadi relatif sangat mahal. Oleh karena itu perlu dicari material lain yang mempunyai sifat konduktifitas dan ketahanan korosi yang baik namun harganya relatif lebih murah dan tersedia di pasaran. Stainless Steel merupakan logam paduan yang memiliki konduktifitas dan ketahanan terhadap korosi yang relatif lebih baik di banding logam-logam paduan ataupun logam murni lainnya dan harganya juga relatif lebih terjangkau. Sehingga Stainless steel menjadi pilihan yang tepat untuk digunakan sebagai elektroda pada proses elektrolisis.

Stainless steel pada dasarnya adalah baja paduan logam besi (Fe) dengan unsur paduan utama Carbon (C), Nikel (Ni), dan Chromium (Cr). Secara garis

besar Stainless dapat dibagi menjadi lima kelompok (Cobb, Harrold M.1999), yaitu:

1. Austenitic Stainless Steel
2. Ferritic Stainless Steel
3. Martensitic Stainless Steel
4. Duplex Stainless Steel (austenitic-ferritic)
5. Precipitation Hardening Stainless Steel

Setiap kelompok stainless steel terbagi lagi menjadi beberapa type dengan persentase dan kandungan unsur paduan yang berbeda-beda, sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 2.4. Untuk setiap tipe stainless steel mempunyai kandungan dan karakteristik yang berbeda begitu pula dengan konduktivitas listrik dan ketahanannya terhadap korosi.

Pada Tabel 2.4 dapat dilihat bahwa stainless steel Tipe 316 dan 316L memiliki kadar Cr yang dapat membentuk lapisan film oksidasi kromium dimana lapisan oksidasi ini dapat menghalangi proses oksidasi besi (Fe), sehingga stainless steel sangat cocok digunakan sebagai elektroda pada proses elektrolisa.

**Tabel 2.4** Standar Komposisi Stainless Steel

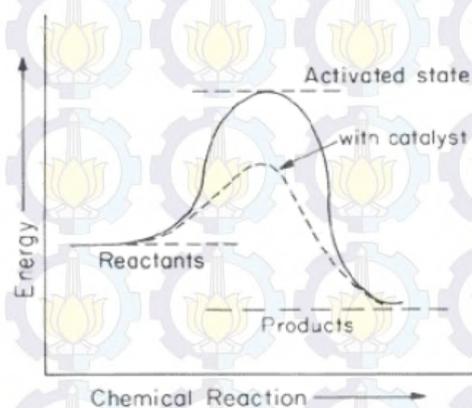
Designation	Type	Composition weight-%						Others
		Cr	Ni	Mo	C	Mn	Si	
<b>AISI 300 Series:</b>								
AISI 304	Austenitic	18-20	8-10.5	—	<0.08	2	1	—
AISI 304L	Austenitic	18-20	8-12	—	<0.03	2	1	—
AISI 321	Austenitic	18-20	8-10.5	—	<0.08	2	1	Ti = 5 × wt-% C
AISI 347	Austenitic	18-20	8-10.5	—	<0.08	2	1	Nb = 10 × wt-% C
AISI 316	Austenitic	16-18	10-14	2.0-3.0	<0.08	2	1	—
AISI 316L	Austenitic	16-18	10-14	2.0-3.0	<0.02	2	1	—
AISI 317	Austenitic	18-20	11-15	3.0-4.0	<0.08	2	1	—
AISI 317L	Austenitic	18-20	11-15	3.0-4.0	<0.03	2	1	—
AISI 310	Austenitic	24-26	19-22	—	<0.25	2	1.5	—
AISI 330	Austenitic	17-20	34-37	—	<0.08	2	1.5	—
<b>AISI 200 Series:</b>								
AISI 201	Austenitic	16-18	3.5-5.5	—	0.15	5.5-7.5	1	+ 0.25 N
AISI 202	Austenitic	17-19	4-6	—	0.15	7.5-10	1	+ 0.25 N
<b>AISI 400 Series:</b>								
AISI 409	Ferritic	10.5-11.7	<1	—	<0.08	1	1	—
AISI 430	Ferritic	16-18	<1	—	<0.08	1	1	—
AISI 434	Ferritic	16-18	<1	0.8-1.2	<0.08	1	1	—
AISI 410	Martensitic	11.5-13.5	<1	—	0.15	1	1	—
AISI 431	Martensitic	15-17	1.2-2.5	—	0.20	1	1	—
<b>Duplex Steels:</b>								
Steel 1	Duplex	25	6.0	3.0	<0.08	—	—	1.5 Cu + 0.25 N
Steel 2	Duplex	25	5.5	3.0	<0.08	—	—	—
<b>Precipitation-Hardening Steels:</b>								
Steel 1	Precipitation	16	4.2	—	0.04	0.5	0.5	3.5 Cu
Steel 2	Precipitation	15	4.5	—	0.04	0.3	0.4	3.5 Cu + Nb

Note: All steels: %P < 0.04%, %S < 0.03%.

### 2.1.7 Katalisator

Pada proses elektrolisis air, katalis yang digunakan adalah larutan elektrolit. Elektrolit dapat didefinisikan sebagai konduktor listrik, dimana arus listrik dibawa oleh pergerakan ion (Gaikwad, K.S. 2004). Dengan melarutkan elektrolit di dalam air akan meningkatkan konduktifitas listrik dari air. Oleh karena itulah dengan penambahan elektrolit sebagai katalis pada proses elektrolisis akan menurunkan energi yang dibutuhkan, sehingga laju reaksi pemecahan molekul air menjadi lebih cepat. Dan apabila jumlah elektrolit yang dilarutkan ke air semakin banyak maka konduktifitas listrik dari air akan semakin tinggi, maka laju produksi gas HHO yang dihasilkan dari proses elektrolisis air juga akan semakin meningkat, akan tetapi jika elektrolit yang dilarutkan ke air terlalu banyak maka energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan gas HHO akan semakin besar karena larutan elektrolit akan semakin jenuh sehingga pergerakan ion-ion didalamnya menjadi terhambat.

Banyak jenis katalis yang digunakan pada proses elektrolisis. Diantaranya yang sering digunakan yaitu sodium bikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ), natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ), dan kalium hidroksida ( $\text{KOH}$ ). Berikut ini Gambar 2.6 adalah grafik hubungan antara reaksi kimia terhadap energi yang dibutuhkan untuk terjadinya reaksi.



**Gambar 2.6** Grafik hubungan antara reaksi kimia terhadap energi yang dibutuhkan untuk terjadinya reaksi. (J.R. Rossum, 2000)

Berdasarkan grafik tersebut dapat terlihat bahwa penggunaan katalis memberikan alternatif mekanisme lain yang energi aktivasinya lebih rendah sehingga reaksi dapat berjalan dengan lebih cepat. Pembentukan kompleks teraktivasi akan lebih tercapai dengan penambahan katalis yang menyebabkan reaksi dapat lebih cepat berjalan. Dalam penelitian ini menggunakan larutan elektrolit *Kalium Hidroksida* (KOH).

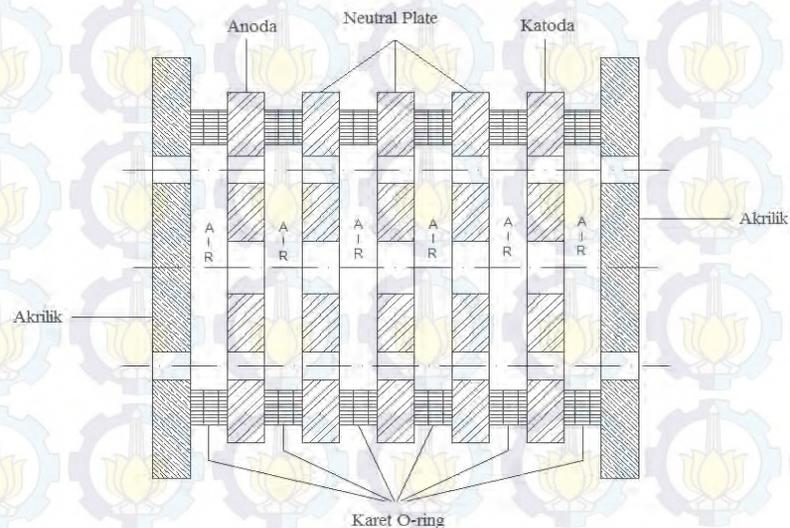
**Tabel 2.5** Karakteristik Kalium Hidroksida (KOH)

Karakteristik	Satuan	Nilai
Berat molekul	gr/mol	56,1
Titik lebur	°C	360
Titik didih	°C	1320
Densitas	gr/cm <sup>3</sup>	2,04
Sangat Korosi		

**Sumber:** Chemistry (Mc Murry, J dan Rober, C., 2001)

## 2.2 Plat Pada Generator

Plat generotor HHO pada setiap cell terdiri dari plat anoda, katoda dan beberapa plat netral. Masing-masing plat mempunyai fungsi yang berbeda-beda dengan tujuan untuk menghasilkan gas HHO yang terbaik. Berikut gambar masing-masing plat yang terpasang pada generotor HHO.



**Gambar 2.7** 2D Plat positif, negatif dan netral

### a. Plat Pembangkit (Anoda dan Katoda)

Plat anoda dan katoda pada generator HHO di rancang sedemikian rupa untuk menghasilkan reaksi elektrolisis dengan cepat serta lebih efisien. Plat anoda dan katoda berkontribusi dalam memberikan luas permukaan tambahan untuk produksi gas HHO, dalam hal ini dapat dilihat dari perubahan warna plat netral pada Gambar 2.8 (a) dan (b) di bawah ini.



a.

b

**Gambar 2.8 (a)** menghasilkan gas hidrogen.

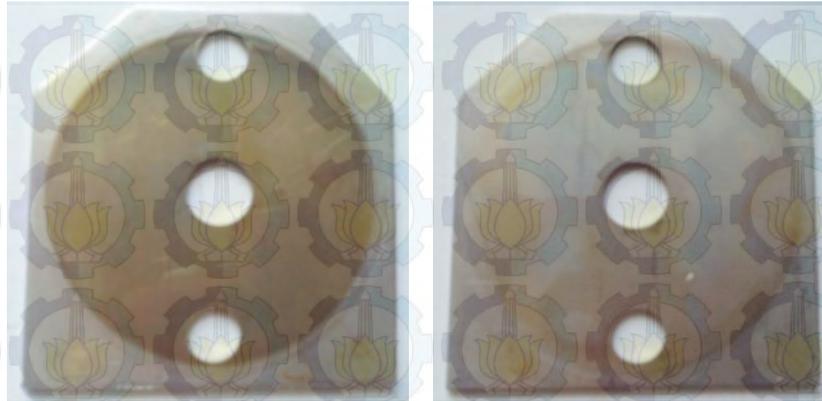
**(b)** plat menghasilkan oksigen

### b. Plat netral

Plat netral pada generator HHO adalah pelat yang tidak diberikan tegangan positif dan negatif dari baterai. Plat netral sebenarnya menyebabkan drop tegangan antar pelat tersebut. Pelat netral memberikan luas permukaan tambahan untuk produksi gas HHO serta menurunkan panas generator.

Apabila tegangan semakin rendah, panas yang dihasilkan juga akan semakin rendah. Tegangan 12 volt baterai dengan 1 netral akan memiliki 6 volt antara masing-masing plat. Dengan 2 netral maka akan memiliki 4 volt antara masing-masing plat. Dengan 3 netral maka akan memiliki 3 volt, dan seterusnya.

Plat netral selain menurunkan panas generator juga memberikan luas permukaan tambahan untuk produksi gas HHO, dalam hal ini dapat dilihat dari perubahan warna plat netral pada Gambar 2.9 (a) dan (b) di bawah ini.



(a)

(b)

**Gambar 2.9** (a) menghasilkan gas hidrogen.  
(b) plat menghasilkan oksigen

### 2.3 Parameter peforma generator HHO

Pemasangan generator HHO untuk digunakan pada sepeda motor harus memperhatikan faktor biaya pembuatan, biaya instalasi, biaya perawatan dan juga faktor *safety*. Sehingga masyarakat dapat merasa aman ketika akan menggunakannya. Dengan pemakaian generator HHO pada sepeda motor diharapkan masyarakat dapat mengurangi biaya pembelian BBM pada sepeda motor mereka. Untuk memperoleh biaya listrik yang sekecil mungkin akan sangat dipengaruhi oleh performa dari generator HHO tersebut. Adapun parameter performa dari generator HHO tersebut adalah:

1. Daya yang dibutuhkan oleh generator HHO
2. Laju produksi gas HHO (*mass flowrate*)
3. Efisiensi generator HHO

#### 2.3.1 Daya yang dibutuhkan oleh generator HHO

Untuk menghasilkan gas HHO dengan menggunakan proses elektrolisa air dibutuhkan energi listrik. Sumber energi listrik generator bisa di ambil dari aki sepeda motor. Untuk itu perlu diketahui seberapa besar daya yang dibutuhkan oleh generator HHO. Perumusan untuk mencari daya yang dibutuhkan adalah :

$$P = V \times I \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana :

P = Daya Generator HHO (watt)

V = Beda potensial/voltase (volt)

I = Arus listrik (Ampere)

Beda potensial didapat dengan menggunakan voltmeter yang dipasang paralel dengan rangkaian dan arus listrik dapat diukur menggunakan amperemeter yang dipasang secara seri dengan rangkaian selama pengujian berlangsung.

### 2.3.2 Laju produksi gas HHO (*mass flowrate*)

Untuk menghitung laju produksi gas HHO, maka harus diketahui dahulu massa jenis dari gas HHO itu sendiri. Jika pada STP (keadaan ideal) massa jenis H<sub>2</sub> diketahui sebesar  $\rho_{H_2} = 0,08235$  gr/ltr dan O<sub>2</sub> sebesar  $\rho_{O_2} = 1,3088$  gr/ltr (*Cole Parmer Instrument, 2005*), maka  $\rho_{HHO}$  dapat dicari penurunan persamaan berikut ini:

$$\begin{aligned}\rho_{HHO} &= \frac{m_{HHO}}{V_{HHO}} \\ &= \frac{(m_{H_2} + m_{O_2})}{V_{HHO}} \\ &= \frac{(\rho_{H_2} \cdot V_{H_2} + \rho_{O_2} \cdot V_{O_2})}{V_{HHO}} \\ &= \frac{(\rho_{H_2} \cdot \frac{2}{3} V_{HHO} + \rho_{O_2} \cdot \frac{1}{3} V_{HHO})}{V_{HHO}} = \frac{2}{3} \rho_{H_2} + \frac{1}{3} \rho_{O_2}\end{aligned}$$

$$\rho_{HHO} = \left(\frac{2}{3} \times 0.08235 \frac{\text{gr}}{\text{L}}\right) + \left(\frac{1}{3} \times 1.3088 \frac{\text{gr}}{\text{L}}\right) = 0.491167 \frac{\text{gr}}{\text{L}}$$

Produk utama proses elektrolisa air dengan menggunakan generator HHO adalah gas HHO. Sehingga untuk mengetahui seberapa baik kinerja generator HHO, perlu diketahui seberapa banyak gas HHO yang dihasilkan oleh generator HHO tersebut. Untuk menghitung *massflowrate* gas HHO dapat dicari dengan persamaan berikut ini :

$$\dot{m} = Q \times \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

$\dot{m}$  = Laju Produksi Gas HHO (Flow Rate) (kg/s)

$Q$  = Debit produksi Gas HHO ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$\rho$  = Massa Jenis HHO ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$$Q = V/t \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

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

$t$  = waktu produksi gas HHO (detik)

Volume gas terukur didapatkan dari peralatan ukur gas yang peneliti buat dengan lembaran plastik yang dibuat silinder tertutup di salah satu sisinya tanpa ada kebocoran dengan volume ukur 500 cc dan waktu produksi gas didapat dari pengukuran waktu menggunakan stopwatch dimulai dari garis 0cc sampai gas memenuhi volume silinder ukur sebesar 500 cc.

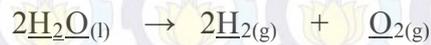
### 2.3.3 Efisiensi generator HHO ( $\eta_{\text{HHO}}$ ), [%]

Efisiensi merupakan perbandingan antara energi yang berguna dengan energi yang diberikan pada suatu sistem. Adapun kegunaan penghitungan efisiensi suatu alat-alat konversi energi adalah untuk mengetahui seberapa optimal alat tersebut dapat bekerja.

$$\eta = \frac{\text{Energi yang berguna (Output)}}{\text{Energi yang diberikan (Input)}} \times 100\%$$

Pada generator HHO hasil yang berguna adalah produk elektrolisis air berupa gas HHO. Gas HHO yang terdiri dari gas  $\text{H}_2$  dan  $\text{O}_2$  mempunyai nilai kalor, sehingga dapat dimanfaatkan energi yang terkandung didalamnya untuk meningkatkan pembakaran pada motor bakar. Karakteristik gas HHO yang cenderung memiliki karakteristik yang hampir sama dengan gas penyusunnya (gas  $\text{H}_2$ ), karena kandungan  $\text{H}_2$  sebesar  $2/3$  volume gas HHO. Namun, nilai kalor pada umumnya mempunyai satuan energi persatuan massa.

Dari persamaan kimia reaksi elektrolisis air berikut ini dapat dihitung seberapa besar kandungan massa H<sub>2</sub> dalam gas HHO. Jika massa H<sub>2</sub>O yang dielektrolisis sebanyak 1 kg, maka massa produk total H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> juga 1 kg, sehingga jika diketahui M (berat molekul) H<sub>2</sub>O = 18, M H<sub>2</sub> = 2, M O<sub>2</sub> = 32, maka didapatkan mol H<sub>2</sub> :



Dari perbandingan mole pada persamaan reaksi kimia elektrolisis air dapat dihitung berapa massa H<sub>2</sub> dalam 1 kg gas HHO, yaitu :

$$\eta_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{1 \text{ kg}}{18 \text{ kg/mol}} = 0.055 \text{ mol}$$

$$\eta_{\text{H}_2} = \frac{\text{Koef. H}_2}{\text{Koef. H}_2\text{O}} = \frac{1 \text{ kg}}{18 \text{ kg/mol}} = 0.055 \text{ mol}$$

$$\eta_{\text{H}_2} = \frac{\text{Koef. H}_2}{\text{Koef. H}_2\text{O}} \times \eta_{\text{H}_2\text{O}} \frac{2}{2} \times 0.055 \text{ mol} = 0.055 \text{ mol}$$

$$m_{\text{H}_2} = \eta_{\text{H}_2} \times M_{\text{H}_2} = 0.055 \text{ mol} \times \frac{\text{kg}}{\text{mol}} = 0.111 \text{ kg atau } \frac{1}{9} \text{ kg}$$

Jadi massa H<sub>2</sub> dalam gas HHO hanya sebesar 1/9 massa total gas HHO, maka NKB (nilai kalor bawah) gas HHO adalah 1/9 kali NKB gas H<sub>2</sub> yaitu = 1/9 x 119,93 kJ/g = 13,325 kJ/g atau 13,325 MJ/kg.

Perubahan entalpi (h) pembakaran standar adalah perubahan entalpi total pada suatu sistem reaksi (dimana reaktan dan produk reaksi dinyatakan sebagai sistem termodinamik) yang terjadi ketika satu molekul bereaksi sempurna dengan oksigen yang terjadi pada 298°K dan tekanan atmosfer 1 a tm. Umumnya, nilai entalpi pembakaran dinyatakan dalam Joule atau Kilo Joule per satu mol reaktan yang bereaksi sempurna dengan oksigen. Setiap sistem atau zat mempunyai energi yang tersimpan didalamnya. Energi potensial berkaitan dengan wujud zat, volume, dan tekanan. Energi kinetik ditimbulkan karena atom-atom dan molekul-molekul dalam zat bergerak secara acak. Jumlah total dari semua bentuk energi itu disebut entalpi. Entalpi akan tetap konstan selama tidak ada energi yang masuk

atau keluar dari zat. Misalnya entalpi untuk air dapat ditulis  $H_{H_2O(l)}$  dan untuk es ditulis  $H_{H_2O(s)}$ . Entalpi (h) suatu zat ditentukan oleh jumlah energi dan semua bentuk energi yang dimiliki zat yang jumlahnya tidak dapat diukur. Perubahan kalor atau entalpi yang terjadi selama proses penerimaan atau pelepasan kalor dinyatakan dengan perubahan entalpi ( $\Delta h$ ). Ada 2 reaksi dalam larutan, yaitu:

- Eksoterm, yaitu proses melepaskan panas dari sistem ke lingkungan, temperatur dari campuran reaksi akan naik dan energi potensial dari zat-zat kimia yang bersangkutan akan turun.
- Endoteren, yaitu menyerap panas dari lingkungan ke sistem, temperatur dari campuran reaksi akan turun dan energi potensial dari zat-zat kimia yang bersangkutan akan naik pada reaksi penguraian air :

$H_2O_{(l)} \rightarrow H_{2(g)} + 0,5O_{2(g)} = +285,84 \text{ kJ/mol}$  adalah reaksi endoterm yang menghasilkan energi entalpi yang bernilai positif (+). Energi entalpi yang dihasilkan adalah :

$$\Delta h = +285,84 \times 10^3 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

Sedangkan energi ikatan yang dibutuhkan adalah melalui penurunan persamaan gas ideal pada kondisi STP :

$$PV = n\bar{R}T \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana :

- P = Tekanan Gas ideal (atm)
- V = Volume gas terukur (L)
- n = Molaritas senyawa (mol)
- $\bar{R}$  = Konstanta Gas ideal (L.atm/mol.K)
- T = Temperatur, 298°K.

Energi ikatan didefinisikan sebagai energi yang diperlukan untuk memutuskan 1 mol ikatan dari suatu molekul dalam wujud gas. Energi ikatan dinyatakan dalam kilo joule per mol ( $\text{kJ mol}^{-1}$ ). Untuk menghilangkan nilai per mol dari entalpi dan menyamakan nilai input dari daya dengan satuan watt (J/s), maka volume gas dan mol diberi satuan per waktu. Perumusannya adalah :

$$P \times \dot{V} = \dot{n} \times \bar{R} \times T \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\dot{n} = \frac{P \times V}{R \times T} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

$\dot{V}$  = Volume per detik (Liter/s)

$\dot{n}$  = Molaritas senyawa per waktu (mol/s)

Maka,

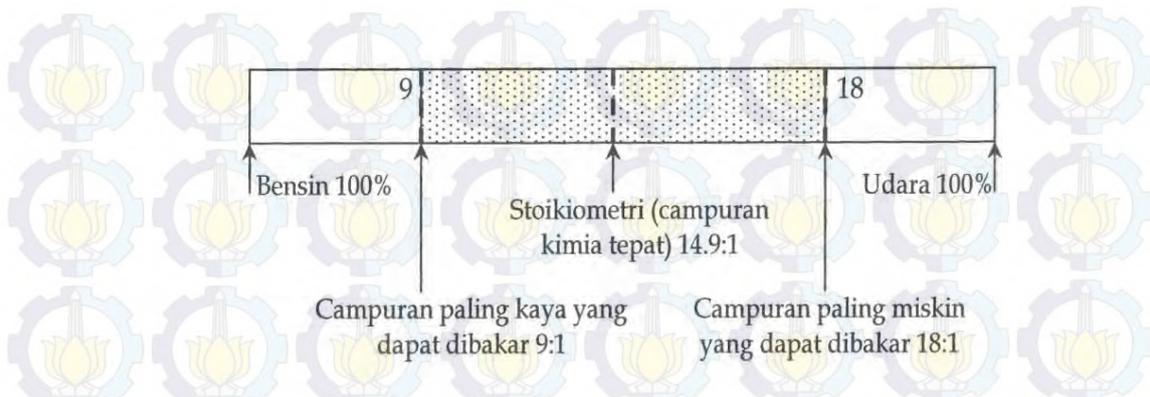
$$\eta = \frac{\text{Energi teoritis yang digunakan untuk elektroda}}{\text{Energi aktual yang dibutuhkan generator HHO}} \times 100 \%$$

$$= \frac{\Delta h_f \times \dot{n}}{(V \times I)} \times 100\%$$

#### 2.4 *Internal Combustion Engine (ICE)*

Menurut Kawano (2011), pembakaran pada *internal combustion engine* (ICE) adalah kombinasi kimia yang relatif sangat cepat antara hidrogen dan karbon di bahan bakar dengan oksigen yang menghasilkan pembebasan energi dalam bentuk panas. Pembakaran akan terjadi di dalam ruang bakar pada ICE selama tiga syarat terpenuhi, yaitu harus ada bahan bakar yang dapat dibakar, harus ada oksigen untuk oksidasi, dan upaya yang dapat memulai oksidasi yakni pemicu panas. Pembakaran sempurna/stoikiometri adalah pembakaran kimia tepat, yang mempunyai jumlah bensin dan oksigen tepat sehingga bensin dapat dioksidasi habis oleh oksigen.

Besarnya angka stoikiometri sangat tergantung pada komposisi bahan bakar hidrokarbon sehingga mempunyai rentangan 14,6:1 s/d 15,0:1 artinya 1 bagian bensin berbanding 14,6 s/d 15,0 bagian udara. Secara sistematis batasan campuran bahan bakar bensin dan udara yang dapat dibakar dalam ruang bakar *spark ignition engine* (SIE) dapat digambarkan seperti Gambar 2.10 di bawah ini.



**Gambar. 2.10** Batasan campuran bensin dan udara yang dapat dibakar dalam ruang bakar SIE (Kawano,2011)

Reaksi pembakaran sempurna akan menghasilkan gas  $\text{CO}_2$  dan air  $\text{H}_2\text{O}$  sebagai *end product*, halini terjadi bila suplai oksigen yang diberikan terpenuhi. Sebaliknya bila reaksi oksidasi bahan bakar kekurangan oksigen maka akan terjadi reaksi pembakaran yang tidak sempurna yang menghasilkan  $\text{CO}$  dan  $\text{HC}$ . Untuk bahan bakar bensin aromatik bensena, reaksi tepatnya sebagai berikut:



Dari reaksi kimia di atas dapat dikatakan bahwa gugusan bensena hanya membutuhkan 7.5 bagian oksigen. Setiap bahan bakar dengan gugus yang berbeda akan memerlukan oksigen yang berbeda pula. Dengan prinsip pembakaran stoikiometri seharusnya tidak ada gas-gas hasil pembakaran yang beracun. Tetapi dalam kenyataannya banyak gas-gas lain yang beracun seperti gas  $\text{CO}$ , gas  $\text{HC}$ , gas  $\text{NO}_x$  dimana gas  $\text{N}_2$  berasal dari udara pembakaran, dan gas-gas lain yang beracun bila bahan bakarnya mengandung bahan lain sebagai campuran. Pembakaran bahan bakar diruang bakar dibutuhkan waktu amat singkat sekitar  $< 0.003$  detik sehingga dengan waktu sependek itu pembakaran sempurna tidak mudah terlaksana.

## 2.5 Bahan Bakar Pertamax

Pertamax merupakan bahan bakar minyak andalan Pertamina. Pertamax, seperti halnya Premium, adalah produk BBM dari pengolahan minyak bumi.

Pertamax dihasilkan dengan penambahan zat aditif dalam proses pengolahannya di kilang minyak. Pertamax pertama kali diluncurkan pada tahun 1999 sebagai pengganti *Premix 98* karena unsur MTBE yang berbahaya bagi lingkungan. Selain itu, Pertamax memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan Premium. Pertamax direkomendasikan untuk kendaraan yang diproduksi setelah tahun 1990, terutama yang telah menggunakan teknologi setara dengan *Electronic Fuel Injection (EFI)* dan *catalytic converters* (pengubah katalitik).

#### Keunggulan Pertamax

- Bebas timbal.
- Oktan atau *Research Octane Number (RON)* yang lebih tinggi dari Premium.
- Karena memiliki oktan tinggi, maka Pertamax bisa menerima tekanan pada mesin berkompresi tinggi, sehingga dapat bekerja dengan optimal pada gerakan piston. Hasilnya, tenaga mesin yang menggunakan Pertamax lebih maksimal, karena BBM digunakan secara optimal. Sedangkan pada mesin yang menggunakan Premium, BBM terbakar dan meledak, tidak sesuai dengan gerakan piston. Gejala inilah yang dikenal dengan '*knocking*'.

**Tabel 2.7** Data fisik dan kimiawi pertamax

		<b>PT. PERTAMINA (PERSERO)</b> Direktorat – Pemasaran dan Niaga		Tanggal Pembuatan : Juni Revisi ke : 2007 Halaman : 5 dari 9		
<b>9. DATA FISIK DAN KIMIAWI</b>						
No	KARAKTERISTIK	SATUAN	BATASAN		METODE	
			MIN	MAKS	ASTM	Lain
1.	Angka Oktan Riset	RON	91,0	-	D 2699 – 86	
2.	Stabilitas Oksidasi (Periode Induksi)	Menit	480	-	D 525 – 99a	
3.	Kandungan Belerang	%m/m	-	0,05 <sup>1)</sup>	D 2622/D 1266	
4.	Kandungan Timbal (Pb)	gr/liter	-	0,013 <sup>2)</sup>	D 32337/D 5069	
5.	Kandungan Fosfor	mg/l	-	-	D 3231 - 99	
6.	Kandungan Logam (Mn, Fe dll)	mg/l	-	-	D 3831 – 94	
7.	Kandungan Silikon	mg/kg	-	-	iICP-AES (Merujuk Metode in house dengan batasan deteksi = 1 mg/kg	
8.	Kandungan Oksigen	% m/m	-	-	D 1319 – 99	
9.	Kandungan Olefin	% v/v	-	*	D 1319 – 99	
10.	Kandungan Aromatik	% v/v	-	50.0	D 4420 – 94	
11.	Kandungan Benzena	% v/v	-	5.0		

12.	Distilasi :				D 86 – 99a	IP 30
	10 % vol penguapan	$^{\circ}\text{C}$	-	70		
	50 % vol penguapan	$^{\circ}\text{C}$	-	110		
	90 % vol penguapan	$^{\circ}\text{C}$	-	180		
	Titik didih akhir	$^{\circ}\text{C}$	-	115		
	Residu	% v/v	-	2.0		
13.	Sedimen	mg/l	-	1	D 5452 – 97	
14.	Unwashed Gum	mg/100ml	-	70	D 381 – 99a	
15.	Washed Gum	mg/100ml	-	5	D 381 – 99	
16.	Tekanan Uap	kPa	45	60	D 5191 – 99 atau D 323	
17.	Berat Jenis (pada suhu 15 $^{\circ}\text{C}$ )	$\text{kg}/\text{m}^3$	715	770	D 4052 – 96 atau D1298	
18.	Korosi Bilah tembaga	menit	Kelas I		D 130 – 94	
19.	Uji Dictor		negatif			
20.	Belerang Mercaptan	% massa	-	0.002	D 3227	
21.	Penampilan Visual		Jernih dan terang			
22.	Warna		Biru			
23.	Kandungan Pewarna	g/1001	-	0.13		

Sumber : Pertamina, 2007

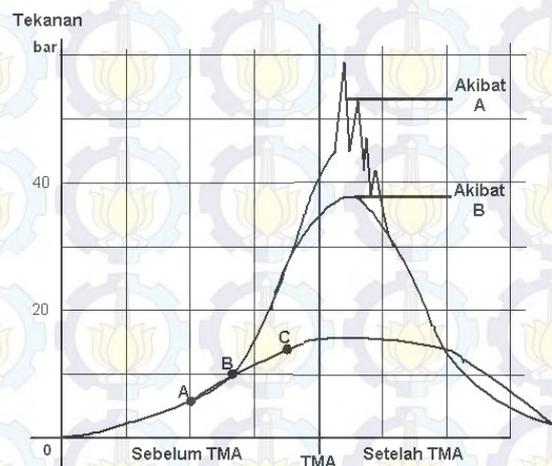
## 2.6 Saat Pengapian dan Pembakaran di *Spark Ignition Engine*

Menurut Jama & Wagino (2008), saat pengapian dari campuran udara dan bahan bakar adalah saat terjadinya percikan bunga api busi beberapa derajat sebelum Titik Mati Atas (TMA) pada akhir langkah kompresi. Untuk mendapatkan daya pembakaran yang optimal maka saat terjadinya percikan bunga api pada busi harus ditentukan dengan waktu yang tepat. Setelah campuran udara dan bahan bakar dibakar oleh bunga api, maka diperlukan waktu tertentu bagi api untuk merambat di dalam ruang bakar. Oleh sebab itu akan terjadi sedikit keterlambatan antara awal pembakaran dengan pencapaian tekanan pembakaran maksimum.

Dengan demikian, agar diperoleh output maksimum pada *engine* dengan tekanan pembakaran mencapai titik tertinggi (sekitar  $10^{\circ}$  setelah TMA), periode perambatan api harus diperhitungkan pada saat menentukan saat pengapian (*ignition timing*). Karena diperlukannya waktu untuk perambatan api, makacampuran udara dan bahan bakar harus sudah di bakar sebelum TMA. Agar saat pengapian dapat disesuaikan dengan kecepatan, beban mesin dan lainnya diperlukan peralatan untuk merubah (memajukan atau memundurkan) saat pengapian. Salah satu diantaranya adalah dengan menggunakan sistem pengapian CDI *Unlimited* pada sepeda motor. CDI *Unlimited* adalah CDI tanpa batasan yang

mampu melayani putaran mesin hingga rpm tinggi, berbeda dengan CDI limited yang dirancang untuk membatasi putaran mesin di rpm tertentu.

Bila saat pengapian dimajukan terlalu jauh (Gambar 2.11 titik A) maka tekanan pembakaran maksimum akan tercapai sebelum  $10^\circ$  sesudah TMA. Karena tekanan di dalam silinder akan menjadi lebih tinggi dari pada pembakaran dengan waktu yang tepat, pembakaran campuran udara dan bahan bakar yang spontan akan terjadi dan akhirnya akan terjadi *knocking* (detonasi). *Knocking* merupakan ledakan yang menghasilkan gelombang kejutan berupa suara ketukan karena naiknya tekanan yang besar dan kuat yang terjadi pada akhir pembakaran. *Knocking* yang berlebihan akan mengakibatkan katub, busi dan torak terbakar. Saat pengapian yang terlalu maju juga bisa menyebabkan suhu mesin menjadi terlalu tinggi. Posisi saat pengapian dapat dilihat pada Gambar 2.11 di bawah ini.



**Gambar 2.11** Posisi Saat Pengapian (Jama & Wagino, 2008).

Sedangkan bila saat pengapian dimundurkan terlalu jauh (Gambar 2.11 titik C) maka tekanan pembakaran maksimum akan terjadi setelah  $10^\circ$  setelah TMA (saat dimana torak telah turun cukup jauh). Bila dibandingkan dengan pengapian yang waktunya tepat (Gambar 2.11 titik B), maka tekanan di dalam silinder agak rendah sehingga *output* mesin menurun, dan terjadi masalah pemborosan bahan bakar dan lainnya akan terjadi. Saat pengapian yang tepat dapat menghasilkan tekanan pembakaran yang optimal.

Saat pengapian berbeda dengan saat pembakaran, karena pembakaran dalam silinder berlangsung secara proses panjang sedangkan saat pengapian terjadi

sekejap dalam detik yang sangat singkat. Mekanisme pembakaran normal di dalam motor dengan bahan bakar bensin dimulai pada saat terjadi loncatan bunga api pada busi. Selanjutnya api membakar campuran udara dan bahan bakar (terkompresi) yang berada di sekelilingnya dan akan terus menyebar keseluruhan ruang pembakaran sampai semua partikel gas terbakar.

Pada keadaan yang sebenarnya didalam silinder, mekanisme pembakaran di dalam motor ini bersifat kompleks dan berlangsung melalui beberapa tahapan, mulai dari proses perambatan api sampai terjadi ledakan (*combustion*). Pada saat campuran udara dan bahan bakar dikompresikan maka tekanan temperaturnya meningkat, sebelum akhir kompresi busi memercikkan bunga api yang kemudian membakar campuran udara dan bahan bakar sehingga terjadi reaksi kimia dimana molekul-molekul hidrokarbon terurai dan bergabung dengan oksigen yang terkandung dalam udara.

Gejala pembakaran lain tidak normal adalah *pre-ignition*. Pada *pre-ignition* ini, bahan bakar terbakar dengan sendirinya sebagai akibat dari tekanan dan temperatur yang cukup tinggi sebelum busi memercikkan bunga api. Tekanan dan temperatur tadi dapat membakar campuran udara dan bahan bakar tanpa pemberian percikan dari busi. Dengan demikian *pre-ignition* merupakan peristiwa pembakaran yang terjadi sebelum sampai pada saat yang dikehendaki (Setiyo, 2010).

## **2.7 Campuran Udara dan Bahan Bakar**

Dalam suatu proses pembakaran beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain bahan bakar, oksigen (udara), kalor dan reaksi kimia. Selain itu, campuran bahan bakar dan udara memegang peranan yang penting juga dalam menentukan hasil proses pembakaran itu sendiri yang secara langsung mempengaruhi reaksi pembakaran yang terjadi serta hasil keluaran (produk) proses pembakaran.

Menurut Tri Nugroho (2007), beberapa metode yang digunakan untuk menghitung rasio campuran bahan bakar dan udara antara lain *AFR* (*air-fuel ratio*), *FAR* (*fuel-air ratio*), dan *ratio equivalen* ( $\Phi$ ).

### 2.7.1 Rasio udara-bahan bakar (*air-fuel ratio/AFR*)

Metode ini paling sering digunakan untuk mendefinisikan campuran dan merupakan perbandingan antara massa dari udara dan bahan bakar pada suatu titik tinjau. Secara simbolis, *AFR* dihitung sebagai :

$$AFR = \frac{m_a}{m_f} = \frac{M_a N_a}{M_f N_f} \dots\dots\dots (2.7)$$

Jika nilai aktual lebih besar dari nilai *AFR*, maka terdapat udara yang jumlahnya lebih banyak daripada yang dibutuhkan oleh sistem dalam proses pembakaran dan dikatakan miskin bahan bakar dan jika nilai aktual lebih kecil dari *AFR* stokiometrik maka tidak cukup terdapat udara pada sistem dan dikatakan kaya bahan bakar.

### 2.7.2 Rasio bahan bakar-udara (*fuel air ratio/FAR*)

Rasio bahan bakar-udara merupakan kebalikan dari pada *AFR* yang dirumuskan sebagai berikut:

$$FAR = \frac{m_f}{m_a} = \frac{M_f N_f}{M_a N_a} \dots\dots\dots (2.8)$$

### 2.7.3 Rasio Ekivalen (*Equivalent Ratio/ Φ*)

Metode ini termasuk metode yang umum digunakan. Rasio ekivalen ( $\Phi$ ) didefinisikan sebagai perbandingan antara rasio udara-bahan bakar (*AFR*) stokiometrik dengan udara-bahan bakar (*AFR*) aktual atau rasio bahan bakar-udara (*FAR*) aktual dengan rasio bahan bakar-udara (*FAR*) stokiometrik. *Ratio ekivalen* ( $\Phi$ ) dirumuskan sebagai berikut:

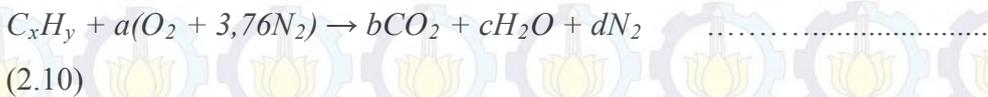
$$\Phi = \frac{AFR_s}{AFR_a} = \frac{FAR_a}{FAR_s} \dots\dots\dots (2.9)$$

- $\Phi > 1$  terdapat kelebihan bahan bakar dan campurannya disebut dengan campuran kaya bahan bakar (*fuel-rich mixture*).

➤  $\Phi < 1$  campurannya disebut dengan campuran miskin bahan bakar (*fuel-lean mixture*).

➤  $\Phi = 1$  merupakan campuran stokiometrik (pembakaran sempurna).

Bahan bakar yang berupa hidrokarbon akan dioksidasi secara menyeluruh menjadi karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan uap air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) jika tersedia pasokan oksigen ( $\text{O}_2$ ) dalam jumlah yang cukup, kondisi pembakaran yang demikian disebut sebagai pembakaran stoikiometri. Persamaan reaksi kimia untuk proses pembakaran stoikiometri pada bahan bakar hidrokarbon ( $\text{C}_x\text{H}_y$ ) dengan udara (campuran oksigen dan nitrogen) dapat dituliskan sebagai berikut (Mathur, 1986):



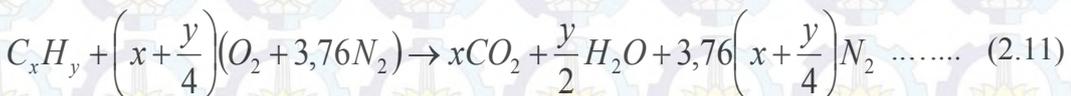
Kesetimbangan C :  $x = b$

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

Persamaan-persamaan kesetimbangan di atas disubstitusikan ke dalam persamaan reaksi pembakaran  $\text{C}_x\text{H}_y$  yang akan menghasilkan persamaan berikut :



Jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mendapatkan pembakaran stoikiometri adalah:

$$m_{\text{O}_2} = \frac{m_{\text{atom O}_2}}{m_{\text{mol C}_x\text{H}_y}} \times \text{persentase C}_x\text{H}_y \text{ (kg/kg bahan bakar)} \quad \dots\dots (2.12)$$

Stoikiometri massa yang didasarkan pada rasio udara-bahan bakar (*air fuel ratio*) untuk bahan bakar hidrokarbon ( $\text{C}_x\text{H}_y$ ) adalah sebagai berikut:

$$\left(\frac{A}{F}\right)_s = \frac{m_{\text{air}}}{m_{\text{fuel}}} = \frac{\left(\sum n_i \bar{M}_i\right)_{\text{air}}}{\left(\sum n_i \bar{M}_i\right)_{\text{fuel}}} = \frac{\left(x + \frac{y}{4}\right)\bar{M}_{\text{O}_2} + 3,76\left(x + \frac{y}{4}\right)\bar{M}_{\text{N}_2}}{x\bar{M}_C + y\bar{M}_H} \quad \dots\dots (2.13)$$

Pada proses pembakaran bahan bakar bensin, udara yang dibutuhkan untuk membakar 1 kg bahan bakar sebanyak 14,7 kg yang kemudian disebut perbandingan campuran udara dan bahan bakar stoikiometri 14,7:1. Sedangkan pada bahan bakar gas hidrogen perbandingan campuran udara dan bahan bakar pada kondisi stoikiometri adalah 34,3 : 1. Faktor udara eksek (*excess-air factor*)  $\lambda$  mengindikasikan seberapa jauh perbandingan udara dan bahan bakar aktual dengan perbandingan udara dan bahan bakar secara teoritis.  $\lambda=1$  menunjukkan bahwa mesin berjalan dengan perbandingan udara dan bahan bakar pada kondisi stoikiometri. Jika  $\lambda < 1$  menunjukkan mesin tersebut mengandung lebih banyak bahan bakar (campuran kaya), sedangkan jika  $\lambda > 1$  (di bawah batasan  $\lambda=1,6$ ) menunjukkan mesin tersebut mengalami kelebihan udara/ kekurangan bahan bakar (campuran miskin).

## 2.8 Parameter Unjuk Kerja

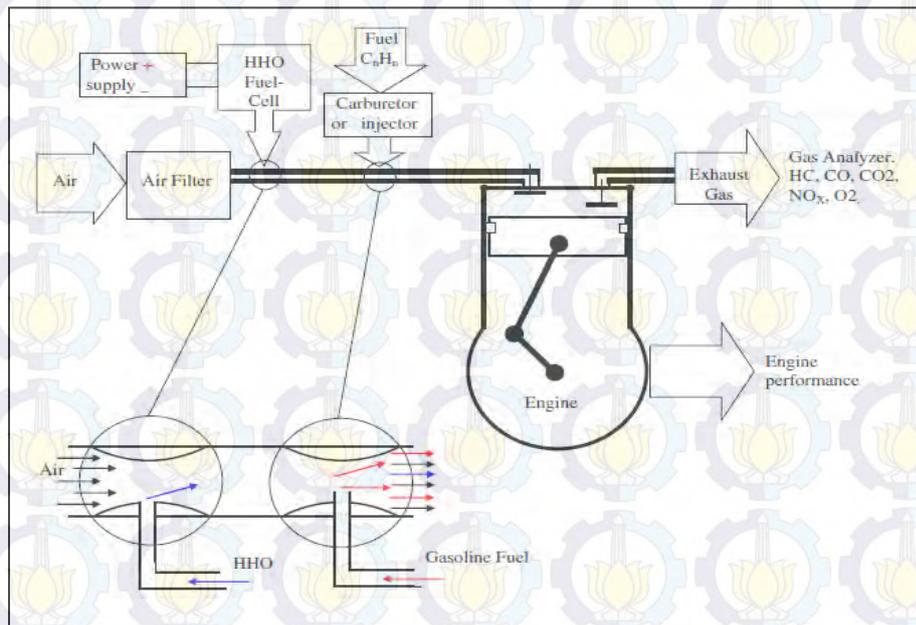
Kualitas suatu mesin dapat dilihat pada unjuk kerja (*performance*) yang dihasilkan oleh mesin tersebut. Untuk mengetahui unjuk kerja tersebut dapat dilakukan dengan melakukan pengujian atau eksperimen langsung pada mesin, pengujian yang dilakukan meliputi beberapa parameter.

### 2.8.1 Unjuk kerja (*Performance*)

- a. Torsi
- b. Daya
- c. Tekanan efektif Rata-rata
- d. Pemakaian bahan bakar spesifik (sfc)
- e. Efisiensi thermal efektif ( $\eta_{th}$ )

### 2.8.2 Emisi Gas Buang

- a. Carbon Monoksida (CO)
- b. Hidrocarbon (HC)
- c. Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>)



Sumber : Fuel 90 (Sa'ed A. Musmar, Ammar A. Al-Rousan 2011) 3066–3070

**Gambar 2.12** Skema Sistem Pengujian gas HHO

## 2.9 Parameter-parameter Performa Mesin Kendaraan Bermotor

### 2.9.1 Torsi (*Torque*)

Torsi adalah gaya putar. Ketika torak bergerak ke bawah pada langkah usaha, akan menerapkan torsi pada poros engkol mesin (melalui batang torak). Dorongan yang lebih besar pada torak, torsi yang lebih besar diterapkan. Oleh karena itu, tekanan pembakaran yang lebih tinggi akan menghasilkan jumlah torsi yang lebih besar. *Dynamometer* biasanya digunakan untuk mengukur torsi mesin.

Torsi dapat diukur pada saat yang sama dengan daya pada *dynamometer*.

$$T = F \cdot r \quad (\text{N.m}) \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan:

T = Torsi (N.m)

F = Gaya yang bekerja pada torak (N)

r = Panjang lengan poros (*crank arm* ½ langkah torak) (m)

### 2.9.2 Daya

Daya pada motor pembakaran dalam dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu daya poros (*Brake horsepower/ bhp*), daya indikator (*Indicated Horsepower/ ihp*), dan daya gesekan (*Friction Horsepower/ fhp*). Daya poros merupakan daya yang berguna bagi motor pembakaran dalam karena daya poros itulah yang menggerakkan beban (Arismunandar, 2005). Daya indikator merupakan daya yang dikembangkan atau dihasilkan mesin di dalam ruang bakar selama proses pembakaran. Sedangkan daya gesekan merupakan daya yang dibutuhkan untuk mengatasi gesekan bagian yang bergerak dari mesin.

Daya poros dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P = 2\pi \times n \times T \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan:

- P = Daya poros (KW)
- T = Torsi (N.m)
- N = Putaran mesin (rpm)

### 2.9.3 Tekanan Efektif Rata-rata (*b MEP*)

Tekanan efektif rata-rata pengereman (*b MEP* atau  $p_b$ ) didefinisikan sebagai tekanan konstan teoritis yang dapat menggambarkan selama setiap langkah usaha mesin untuk menghasilkan daya (kerja) yang sama dengan daya efektif (atau kerja) (Obert, 1973). Parameter-parameter yang didapatkan memiliki satuan gaya per satuan luas dan disebut tekanan efektif rata-rata (*mean effective pressure/mep*).

Rumus tekanan efektif rata-rata dapat ditulis sebagai berikut:

$$b_{MEP} = \frac{a \times P}{\frac{1}{4} D^2 \times S \times n} \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan:

- $B_{MEP}$  = Tekanan efektif rata-rata (Pa)
- P = Daya poros (KW)

- D = Diameter silinder (m)
- S = Panjang langkah torak (m)
- n = Putaran mesin (rpm)
- a = Jumlah siklus per putaran (1 untuk motor 2 langkah dan 2 untuk motor 4 langkah)

#### 2.9.4 Efisiensi Thermal Efektif ( $\eta_{th}$ )

Menurut Warju (2009), termal artinya dihubungkan dengan “panas”. Efisiensi termal mesin adalah hubungan antara daya yang dihasilkan dengan energi dalam bahan bakar yang dibakar untuk menghasilkan daya tersebut.

Secara matematis efisiensi termal efektif dapat ditulis sebagai berikut:

$$\eta_{th} = \frac{P}{\dot{m}_f \times Q_{HV}} \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan:

$\eta_{th}$  = Efisiensi termal efektif

P = Daya poros (KW)

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

$Q_{HV}$  = Jumlah kalor bahan bakar ( $\frac{Kj}{kg}$ )

#### 2.9.5 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik ( $sfc$ )

Menurut Obert (1973), konsumsi bahan bakar spesifik adalah perbandingan parameter yang menunjukkan bagaimana efisiensi sebuah mesin merubah bahan bakar menjadi kerja.

Adapun rumus untuk konsumsi bahan bakar ( $sfc$ ) adalah:

$$sfc = \frac{\dot{m}_f}{P} \dots\dots\dots(2.18)$$

Keterangan:

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

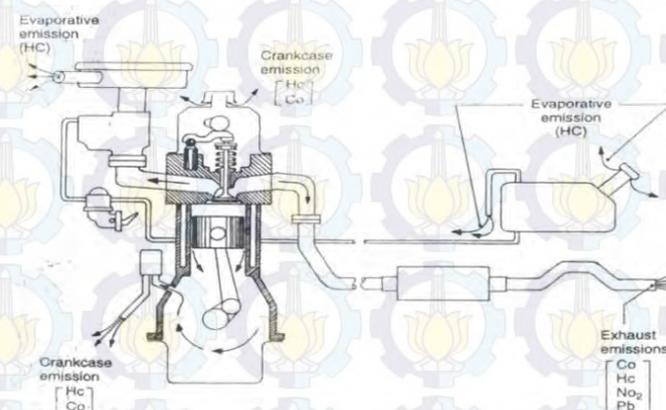
P = daya poros (KW)

## 2.10 Emisi Gas Buang Kendaraan Berbahan Bakar Minyak (BBM)

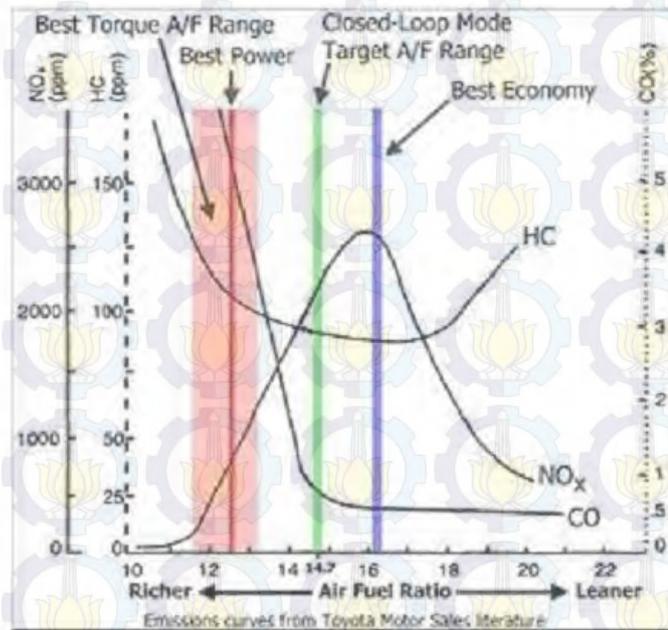
Menurut Swisscontact (2001), gas buang kendaraan bermotor terdiri atas zat yang tidak beracun, seperti: nitrogen ( $N_2$ ), karbondioksida ( $CO_2$ ), dan uap air ( $H_2O$ ) dan zat beracun seperti: karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), oksida nitrogen ( $NO_x$ ), sulfur oksida ( $SO_x$ ), zat debu timbal (Pb), dan partikulat.

Pada kendaraan bermotor polusi berasal dari empat sumber, yaitu:

- Pipa gas buang (knalpot) adalah sumber yang paling utama (65-85 persen) dan mengeluarkan hidrokarbon (HC) yang terbakar maupun tidak terbakar, bermacam-macam nitrogen oksida ( $NO_x$ ), karbon monoksida (CO), dancampuran alkohol, aldehida, keton, penol asam, ester, ether, eoksida, peroksida, dan oksigenat yang lain.
- Bak oli adalah sumber kedua (20 persen), dan mengeluarkan hidrokarbon yang terbakar maupun tidak yang dikarenakan *blowby*.
- Tangki bahan bahan bakar adalah faktor yang disebabkan oleh cuaca panas dengan kerugian penguapan hidrokarbon mentah (5 persen)
- Karburator adalah faktor lainnya, terutama pengendalian pada posisi *stop-and-go* (kondisi macet) dengan cuaca panas, dengan kerugian penguapan dan bahan bakar mentah (5-10 persen) (Obert, 1973).



Gambar 2.13 Sumber emisi gas buang kendaraan motor (Heisler, 1995)



**Gambar 2.14** Tipikal kurva ketiga polutan utama yang dihasilkan motor pembakaran dalam (Kawano, 2012).

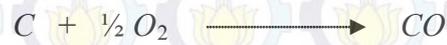
Pada motor pembakaran dalam karakteristik produk gas buang dari pembakaran di ruang bakar adalah bila karbon monoksida (CO) mengecil, maka oksida nitrogen ( $\text{NO}_x$ ) akan naik tinggi sementara itu hidrokarbon yang terbakar (HC) juga mengalami kenaikan walaupun tidak setinggi  $\text{NO}_x$ . Pada Gambar 2.14 berikut ini tipikal emisi gas buang yang dikeluarkan pada motor pembakaran dalam.

### 2.10.1 Karbon Monoksida (CO)

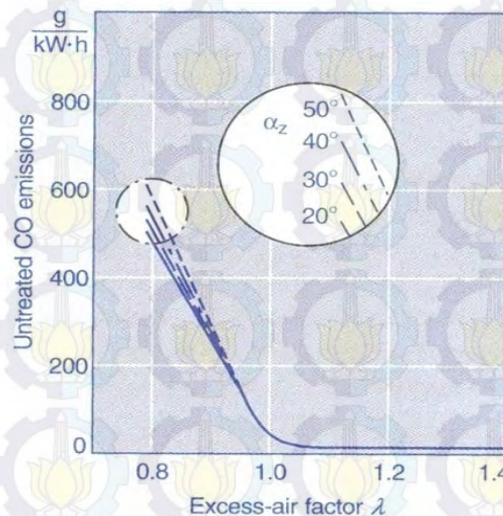
Menurut Robert (2006), Karbon monoksida (CO) adalah gas yang tidak berwarna dan tidak berbau. Dalam tubuh manusia, karbon monoksida menghalangi kemampuan darah untuk menangkap oksigen, hingga mudah untuk teracuni. Selain itu, menurut Warju (2009), apabila karbon di dalam bahan bakar terbakar habis dengan sempurna, maka terjadi reaksi sebagai berikut:



Namun, apabila unsur oksigen (udara) tidak cukup, maka terjadi proses pembakaran yang tidak sempurna yang menghasilkan CO seperti pada reaksi di bawah ini:



Jumlah gas CO yang dikeluarkan oleh mesin kendaraan diperingati oleh perbandingan antara udara dan bahan bakar yang dihisap oleh mesin ke dalam ruang bakar.



**Gambar 2.15** Grafik hubungan lambda terhadap emisi CO dengan variasi *timing* pengapian (Robert Bosch GmbH, 2006).

Berdasarkan Gambar 2.15 dapat dilihat bahwa pada saat campuran kaya (kekurangan udara) emisi gas buang CO cenderung naik. Hal ini dikarenakan atom karbon (C) yang berasal dari bahan bakar kekurangan oksigen ( $O_2$ ) yang berasal dari udara berikatan melalui reaksi kimia di dalam ruang bakar dan berubah menjadi karbon dioksida ( $CO_2$ ). Sedangkan pada kondisi campuran miskin (kelebihan udara) konsentrasi CO berbanding lurus dengan campuran bahan bakar dan udara yang dihisap sehingga konsentrasi CO akan turun karena oksigen yang berasal dari udara cukup untuk memenuhi reaksi dengan karbon membentuk  $CO_2$ .

## 2.11 Penelitian Terdahulu

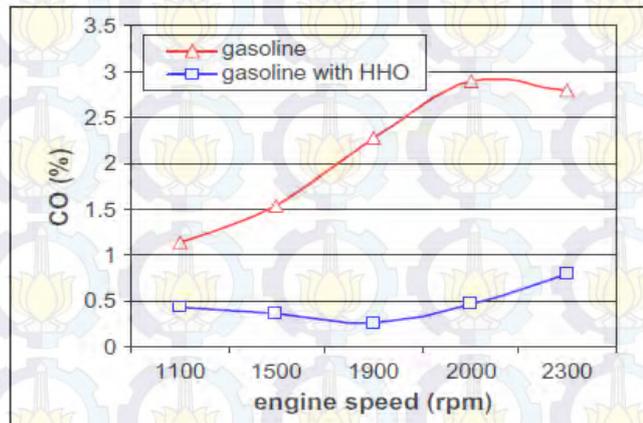
Pada sub bab ini akan di tampilkan beberapa hasil penelitian-penelitian terdahulu yang dijadikan dasar pertimbangan dalam melakukan penelitian tugas akhir ini.

### 2.11.1 Stanley Meyer (1995)

Menemukan sistem bahan bakar elektrolisa air yang sempurna sekaligus sistem kontrol elektroniknya untuk menjalankan mobil VW *Beetle* dan berhasil berjalan sejauh 160 km dengan menggunakan 3 liter air.

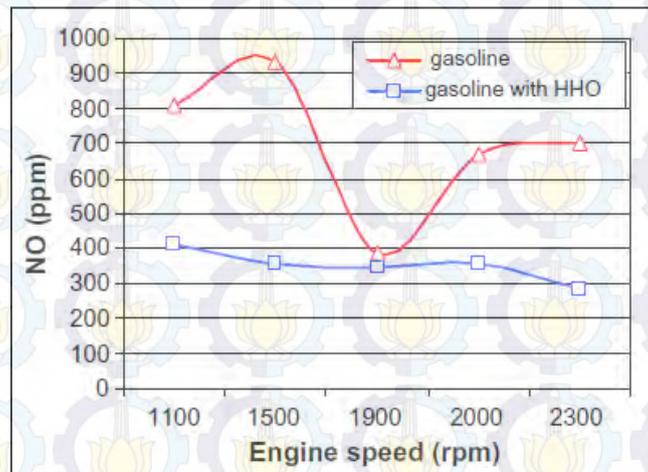
### 2.11.2 Effect Of HHO Gas on Combustion Emissions in Gasoline Engines

Hasil penelitian Sa'ed A. Musmar dan Ammar A. Al-Rousan (Juni 2011) menunjukkan bahwa campuran HHO, udara, dan bensin menyebabkan penurunan pencemar emis gas buang dan terjadi peningkatan efisiensi mesin. Uji emisi dilakukan dengan memvariasikan kecepatan mesin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen oksida (NOx) berkurang sekitar 50% ketika ditambahkan campuran gas HHO, udara, dan bahan bakar yang standar. Selain itu, karbon monoksida berkurang sekitar 20%. Pengurangan konsumsi bahan bakar berkisar antara 20% dan 30%.



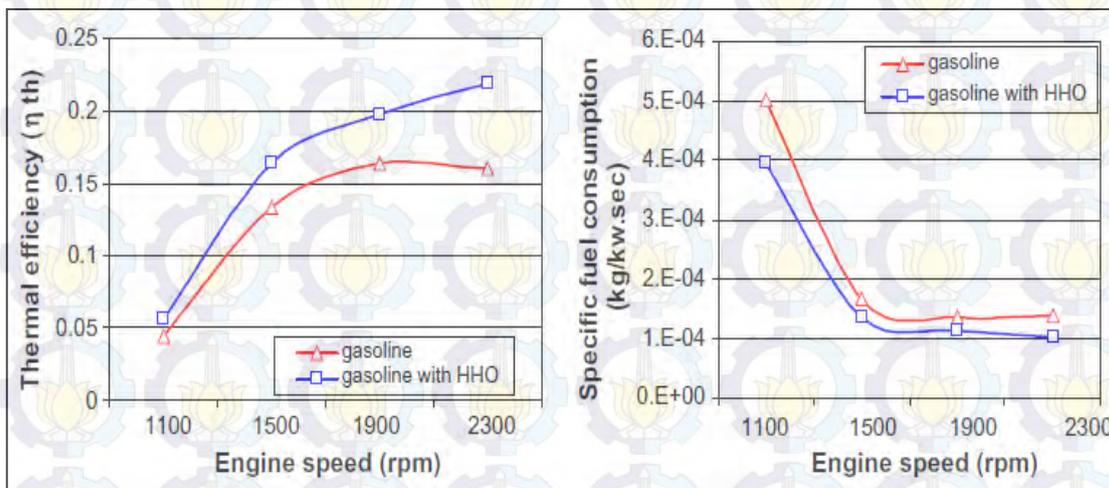
Gambar 2.16 Grafik CO vc Engine Speed (rpm)

Pada Gambar 2.16 Menggunakan campuran gas HHO mengurangi secara signifikan karbon monoksida (CO) karena pembakaran yang efisiensi pada mesin dan juga pengaruhi bahan bakar terhadap udara.



**Gambar 2.17** Grafik NO (ppm) vc Engine Speed (rpm)

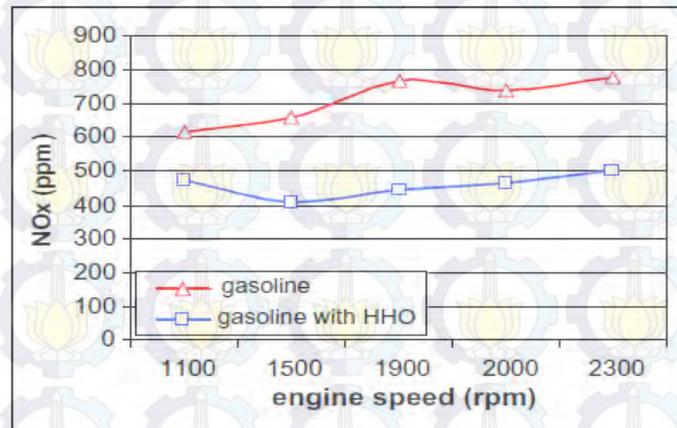
Gambar 2.17 menunjukkan pengurangan emisi nitrogen oksida karena keberadaan HHO di ruang bakar.



**Gambar 2.18** Grafik effect of HHO gas on break efficiency and fuel consumption

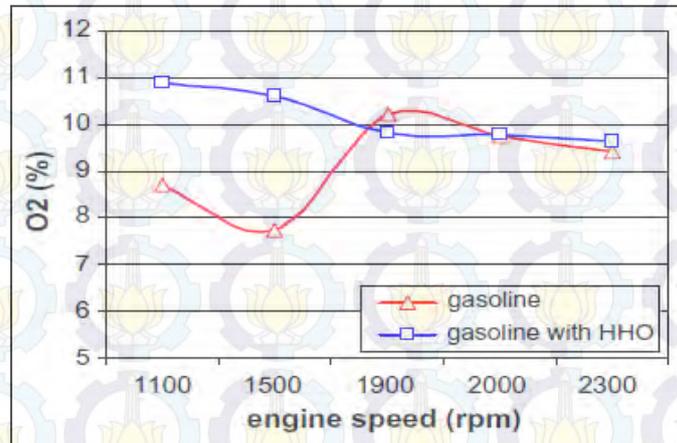
Pada Gambar 2.18 dengan penambahan gas HHO dapat meningkatkan efisiensi termal dan dan menurunkan sfc. Ini dikarenakan terjadinya konfigurasi diatomik gas HHO ( $H_2$ ,  $O_2$ ) menghasilkan pembakaran efisien karena atom hidrogen dan oksigen berinteraksi langsung tanpa penundaan pengapian. Panas dan tekanan gelombang HHO menghasilkan meremukkan dan fragmen tetesan bensin, mengekspos bahan bakar untuk oksigen pada reaksi pembakaran. Ini

secara efektif memperkaya rasio udara bahan bakar karena lebih banyak bahan bakar yang tersedia.

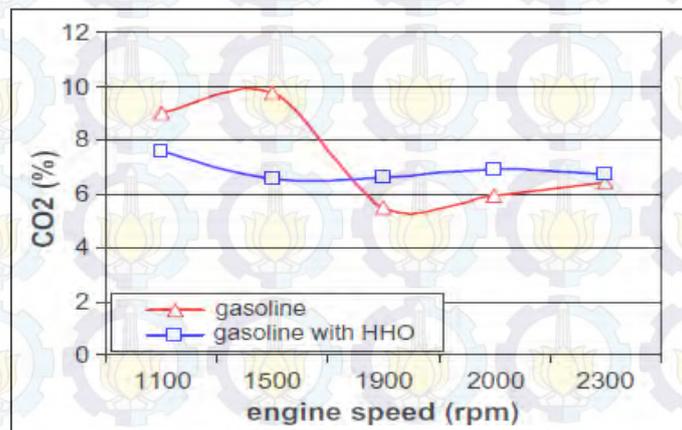


**Gambar 2.19** Variasi Nox vs engine speed (rpm)

Gambar 2.19 menunjukkan penurunan konsentrasi NOx yang tinggi biasanya melihat dengan udara yang sangat panas dan kompresi yang memiliki nitrogen di dalamnya. Menambahkan HHO untuk bensin meningkatkan rating oktan. Fakta ini menyebabkan bensin untuk menyala sebelum TMA (Top Dead Center, titik di mana piston berada pada titik tertinggi dari gerakannya), sehingga kurang efisien karena ledakan gas asap mendorong piston ke bawah (itu adalah terlalu dini sehingga terjadi sedikit terbalik) dan oleh karena itu "ping" kebisingan dan daya kurang dari bensin biasa. Gas atau uap air Brown menyebabkan bahan bakar rendah dan menyala lebih lambat, sehingga tampil seperti bensin oktan tinggi. Jika nilai oktan lebih tinggi berarti tenaga akan kuat karena pembakaran terjadi lebih dekat ke TDC, di mana ia memiliki kesempatan untuk berubah menjadi torsi mekanik (push rotary).

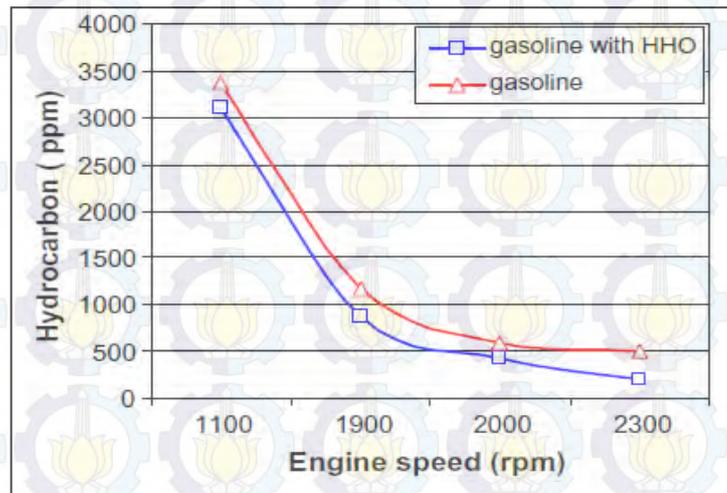


**Gambar 2.20** Variasi O<sub>2</sub> vs engine speed (rpm)



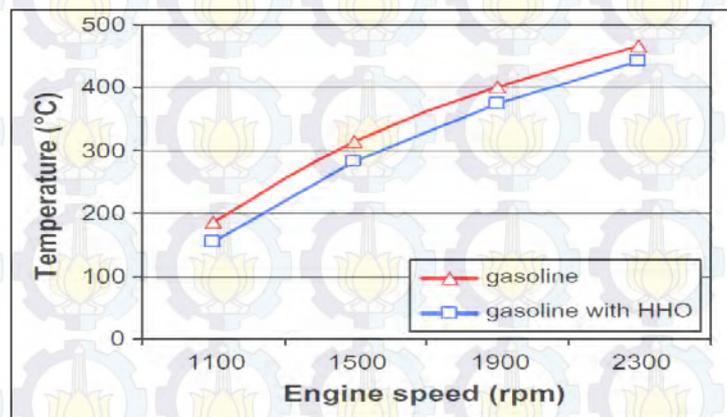
**Gambar 2.21** Variasi CO<sub>2</sub> vs engine speed (rpm)

Pada Gambar 2.20 dan 2.21 dapat terlihat bahwa hasilnya menunjukkan dua segmen. Pertama, dengan penambahan gas HHO mesin pada putaran 1900 rpm nilai oksigen meningkat sekitar 20 % sedangkan karbon dioksida berkurang hingga 40 % . Kedua menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan baik oksigen atau konsentrasi karbon dioksida. Hal ini terkait dengan waktu yang tersedia untuk reaksi pembakaran berlangsung, kecepatan mesin yang lebih tinggi menyebabkan waktu pembakaran lebih pendek .



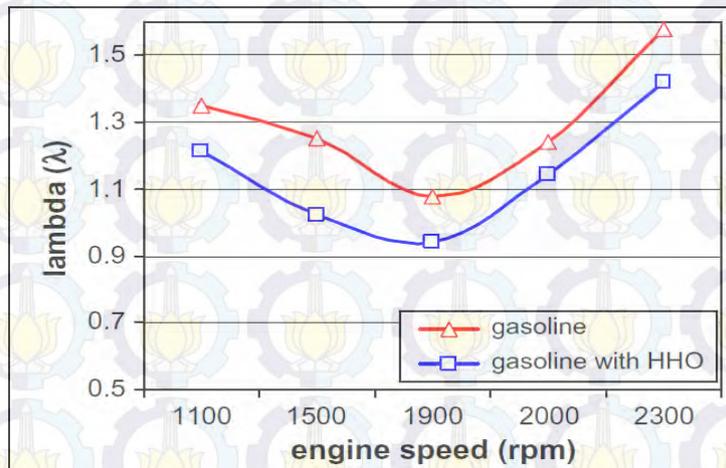
**Gambar 2.22** Variasi Hydrocarbon vs engine speed (rpm).

HC adalah masalah terburuk untuk mesin kendaraan. Pada Gambar 2.22 konsentrasi HC di knalpot berbanding terbalik dengan kecepatan mesin. Hal ini disebabkan peningkatan turbulensi intensitas proses gas terbakar dan tidak terbakar sehingga meningkatkan tingkat oksidasi HC. Terjadi penurunan konsentrasi HC di knalpot dengan penambahan gas HHO.



**Gambar 2.23** Variasi Temperature vs engine speed (rpm).

Pada Gambar 2.23 terlihat suhu gas buang langsung berhubungan dengan kecepatan mesin. Dengan penambahan gas HHO dapat mengurangi suhu gas buang. Hal ini menyebabkan menurunkan emisi NO<sub>x</sub> dan temperature seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.19 dan 2.23.



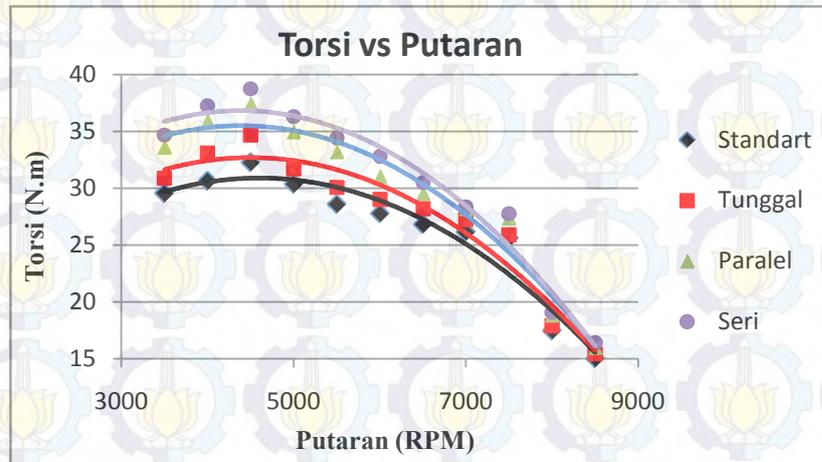
**Gambar 2.24** Variasi Lamda vs engine speed (rpm).

Pada Gambar 2.24 hasil menunjukkan penambahan gas HHO nilai lamda lebih mendekati 1, karena meningkatkan karakteristik pembakaran dan akibatnya mengurangi konsumsi bahan bakar pada setiap kecepatan.

### **2.11.3 Pengaruh Penambahan Generator HHO dengan Variasi Rangkaian Generator HHO Seri dan Paralel Terhadap Unjuk Kerja Mesin Honda Supra X 125 PGM-FI**

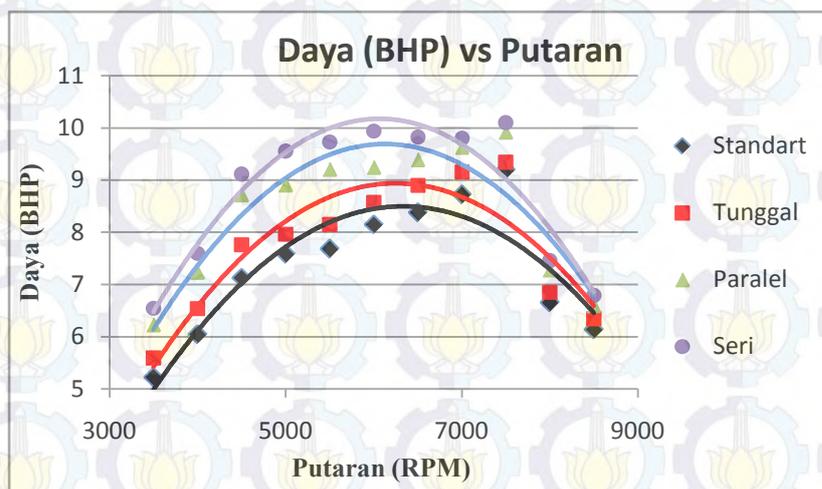
Penelitian Dendy Widiantara dilakukan secara eksperimen dengan menggunakan generator HHO tipe basah. Pemasangan tabung generator HHO menggunakan rangkaian seri dan paralel, masing-masing rangkaian menggunakan 3 tabung generator HHO. Didapatkan bahwa generator rangkaian seri penghasil gas HHO yang baik dan mampu meningkatkan unjuk kerja mesin bensin. Generator rangkaian seri menyebabkan kenaikan daya sebesar 19%, torsi sebesar 15%, bmep sebesar 18% dan penurunan Sfc sebesar 25%. Sedangkan pada variasi generator HHO rangkaian paralel menyebabkan kenaikan daya sebesar 14%, torsi sebesar 11%, dan bmep sebesar 14% ; penurunan Sfc sebesar 20%.

Berikut grafik hasil pengujian yang didapat :



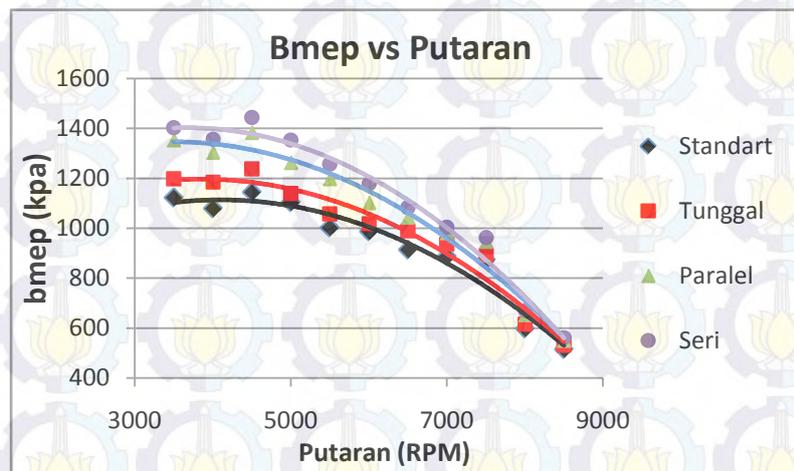
**Gambar 2.25** Grafik Torsi fungsi putaran

Dengan penambahan generator HHO berakibat terjadinya peningkatan torsi pada *engine*, dikarenakan pembakaran yang terjadi dalam ruang bakar menjadi lebih sempurna. Torsi yang tertinggi ditunjukkan pada generator HHO variasi rangkaian seri, ini dikarenakan tekanan gas HHO yang diproduksi tidak mempengaruhi tekanan sewaktu memproduksi pada tabung kedua dan katiga.



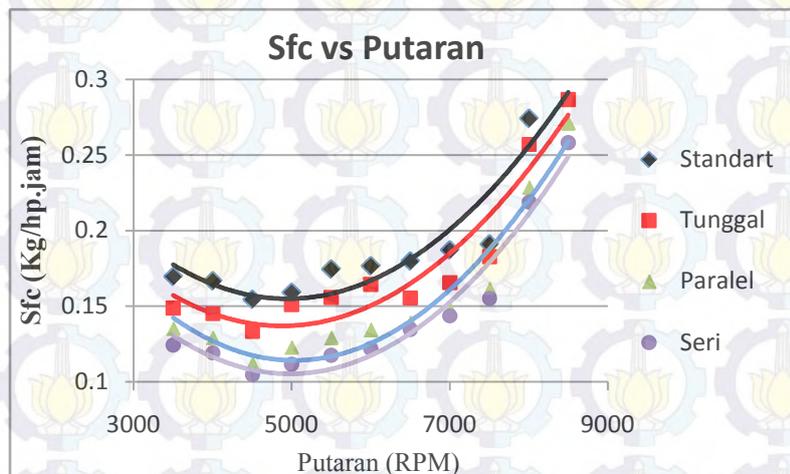
**Gambar 2.26** Grafik Bhp fungsi putaran

Terjadinya peningkatan daya dengan penambahan generator HHO karena besarnya daya efektif sebanding dengan torsi, seperti pada grafik torsi di atas.



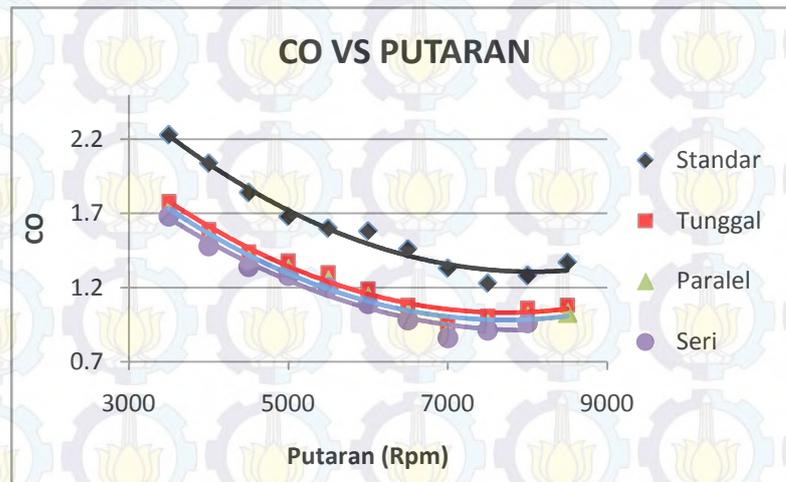
Gambar 2.27 Grafik bmep fungsi putaran

Pada Gambar 2.27 grafik bmep terlihat tren yang terjadi identik dengan tren yang ada pada grafik torsi karena torsi dari *engine* dipengaruhi oleh bmep.



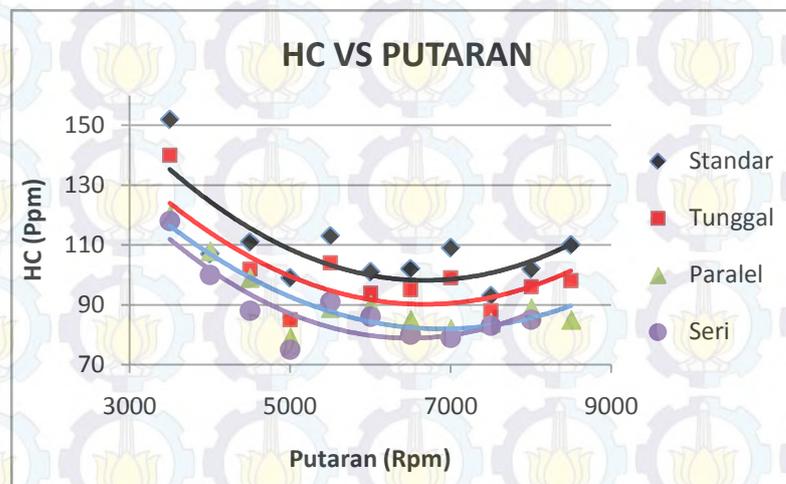
Gambar 2.28 Grafik Sfc fungsi putaran

Pada Gambar 2.28 grafik sfc vs putaran, terlihat terjadinya penurunan nilai sfc dengan penambahan gas HHO ini dikarenakan penambahan gas HHO akan lebih banyak memberikan suplai oksigen dalam ruang bakar sehingga bahan bakar yang terbuang akan berkurang.



Gambar 2.29 Grafik CO fungsi putaran

Terjadinya penurunan emisi CO pada Gambar 2.29 dengan penambahan gas HHO disebabkan karena gas HHO yang terdiri dari *hydrogen* dan oksigen dapat meningkatkan homogenisan dari campuran bahan bakar dan udara yang masuk.

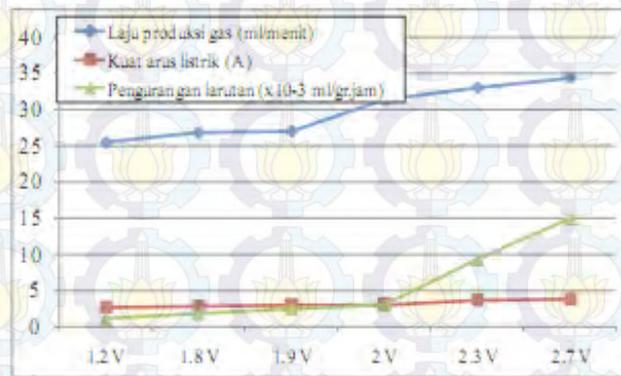


Gambar 2.30 Grafik HC fungsi putaran

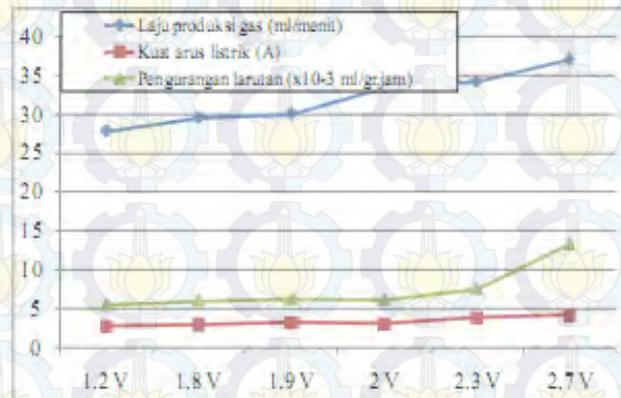
Terjadinya penurunan emisi HC pada Gambar 2.30 karena gas HHO dapat mengikat lebih banyak *hydrocarbon* (HC), sehingga campuran bahan bakar dan udara dapat terbakar sempurna dan lebih merata sehingga kualitas pembakarannya lebih baik.

#### 2.11.4 Studi Karakteristik Generator Gas HHO Dry Cell dan Aplikasinya Pada Kendaraan Bermesin Injeksi 1300 cc

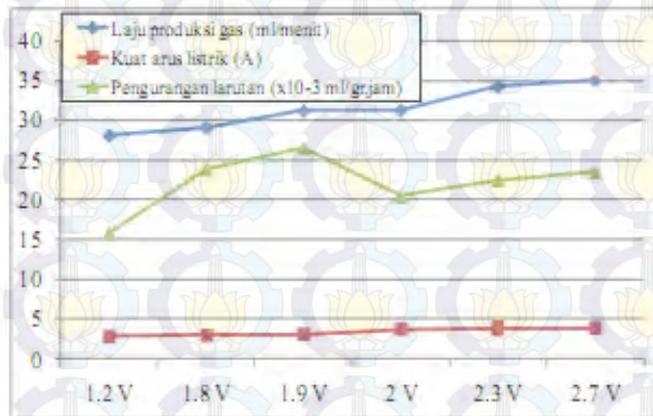
Penelitian yang dilakukan Iqbal Wwahyudzin dan Harus laksana guntur menunjukkan bahwa produksi gas maksimum terjadi pada konsentrasi katalis (KOH) 30% dan laju produksi gas berbanding lurus dengan temperatur kerja. Sementara hasil uji performa mesin sesudah menggunakan sistem suplai Brown gas menunjukkan penurunan konsumsi BBM yang signifikan, yaitu sebesar 30%, dibanding dengan sebelum menggunakan sistem suplai Brown gas. Hasil uji emisi juga menunjukkan terjadi penurunan konsentrasi CO dari 0,67% menjadi 0,12% dan CO<sub>2</sub> dari 16,90% menjadi 15,50%.



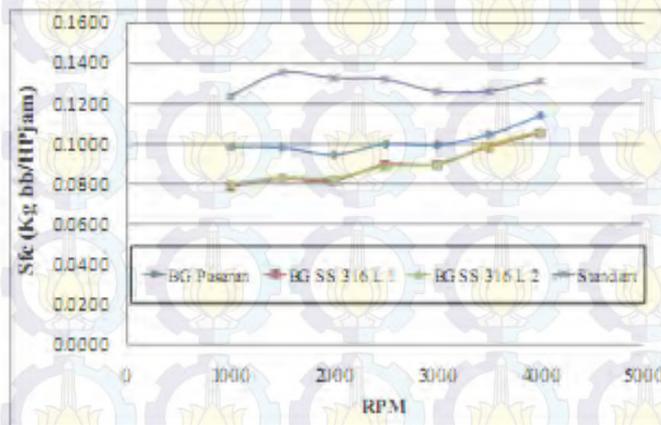
**Gambar 2.30** Grafik Hubungan antara Voltase, Arus, Laju Produksi Gas dan Pengurangan Larutan Elektroliser (KOH=20% dan T=30<sup>o</sup>C)



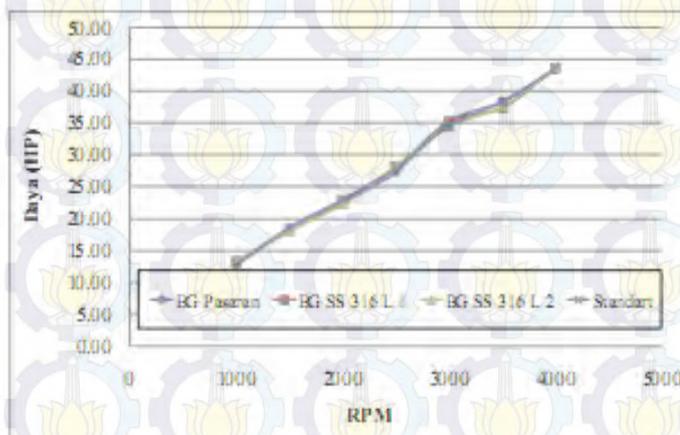
**Gambar 2.32** Grafik Hubungan antara Voltase, Arus, Laju Produksi Gas dan Pengurangan Larutan Elektroliser (KOH=30% dan T=30<sup>o</sup>C)



**Gambar 2.33** Grafik Hubungan antara Voltase, Arus, Laju Produksi Gas dan Pengurangan Elektroliser (KOH=40% dan T=30 °C)

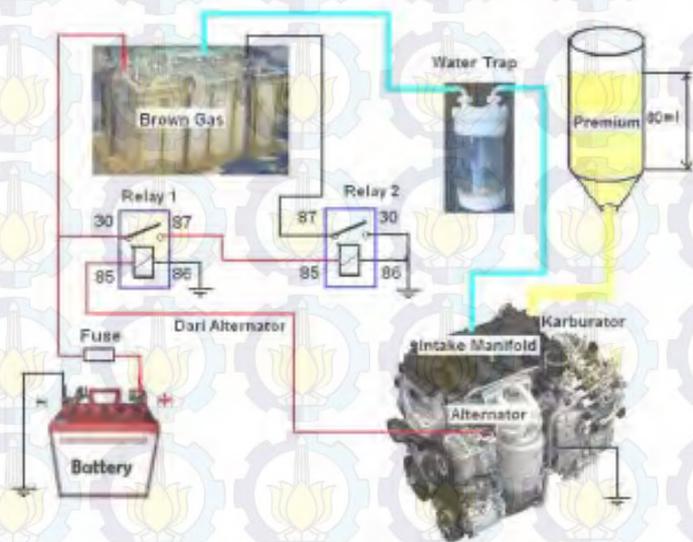


**Gambar 2.34** Grafik Hubungan antara Putaran Mesin dan Konsumsi BBM Tanpa dan dengan Sistem Suplai Brown Gas



**Gambar 2.35** Grafik hubungan antara putaran mesin dan daya mesin tanpa dan dengan sistem suplai Brown Gas

Tahapan eksperimen yang dilakukan yaitu tahap utama, yaitu: 1) Uji pengaruh luas elektroda, prosentase katalis (KOH), temperatur kerja dan suplai daya terhadap laju produksi gas  $H_2O_2$  pada elektroliser satu ruang, 2) Rancang bangun sistem suplai Brown gas yang terbuat dari 6 ruang elektroliser tersusun seri, 3) Rancang bangun sistem pengendali laju produksi pada sistem suplai Brown gas, 4) Uji performa mesin setelah menggunakan prototipe sistem suplai Brown gas dengan sistem pengendali. Skema distribusi bahan bakar premium dan Brown gas seperti Gambar 2.36 di bawah ini.



**Gambar 2.36** Skema Distribusi Bahan Bakar Premium dan Brown Gas pada Ruang Mesin Kendaraan

Uji karakteristik elektroliser satu ruang dilakukan untuk mendapatkan hubungan antara suplai daya, konsentrasi KOH dan temperatur kerja dengan laju produksi Brown gas. Hasil uji karakteristik akan digunakan sebagai dasar dalam merancang dimensi elektroliser yang optimum pada sistem suplai Brown gas. Pengujian dilakukan dengan mevariasikan voltase kerja (1.2 v, 1.6 v, 2.0 v, 2.8 v & 3.0 v), konsentrasi KOH (20%, 30% & 40%) dan temperatur kerja (30°C, 70°C & 90°C).

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

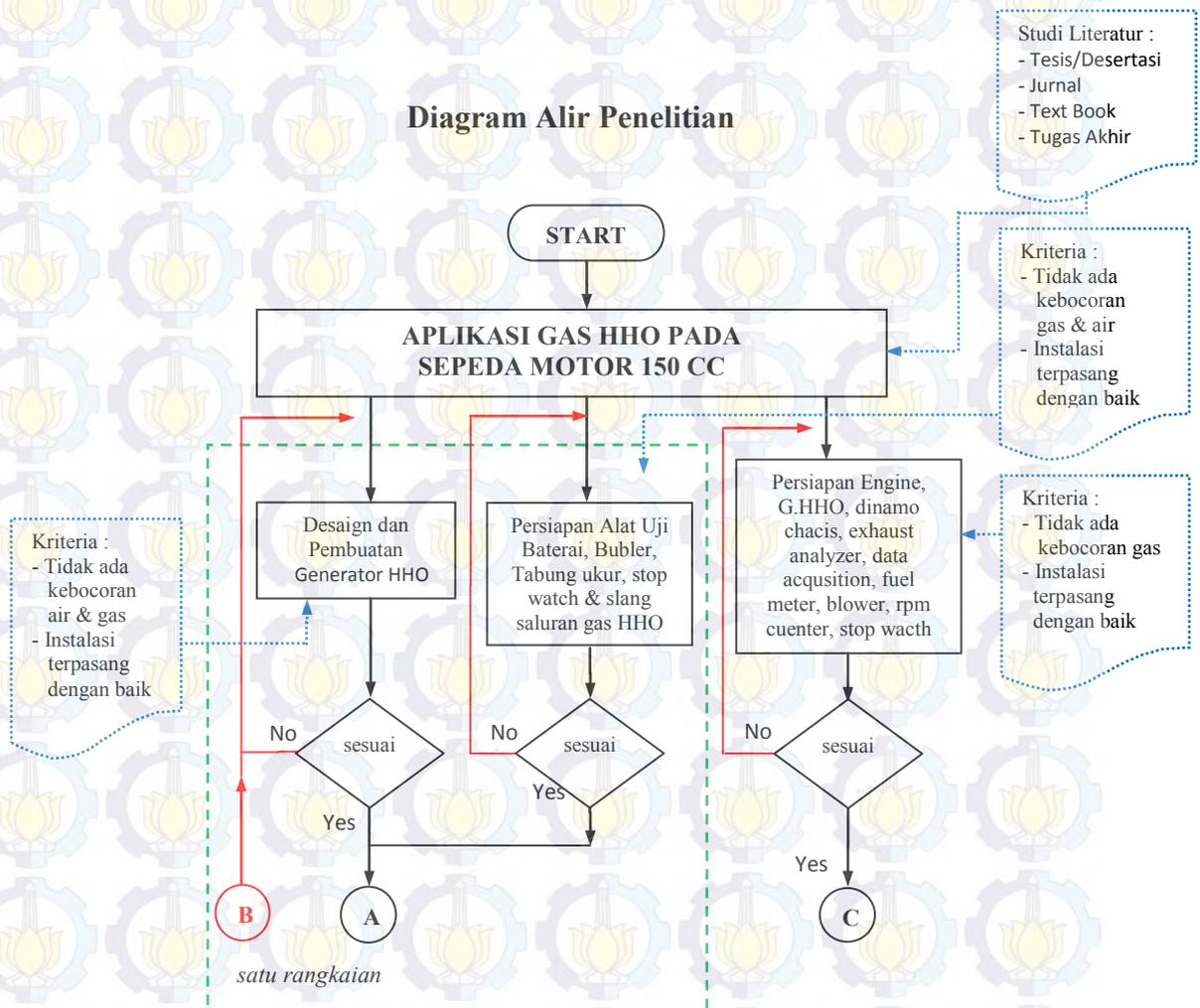
Penelitian eksperimen ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar Teknik Mesin ITS. Waktu dimulai pada bulan Mei 2014.

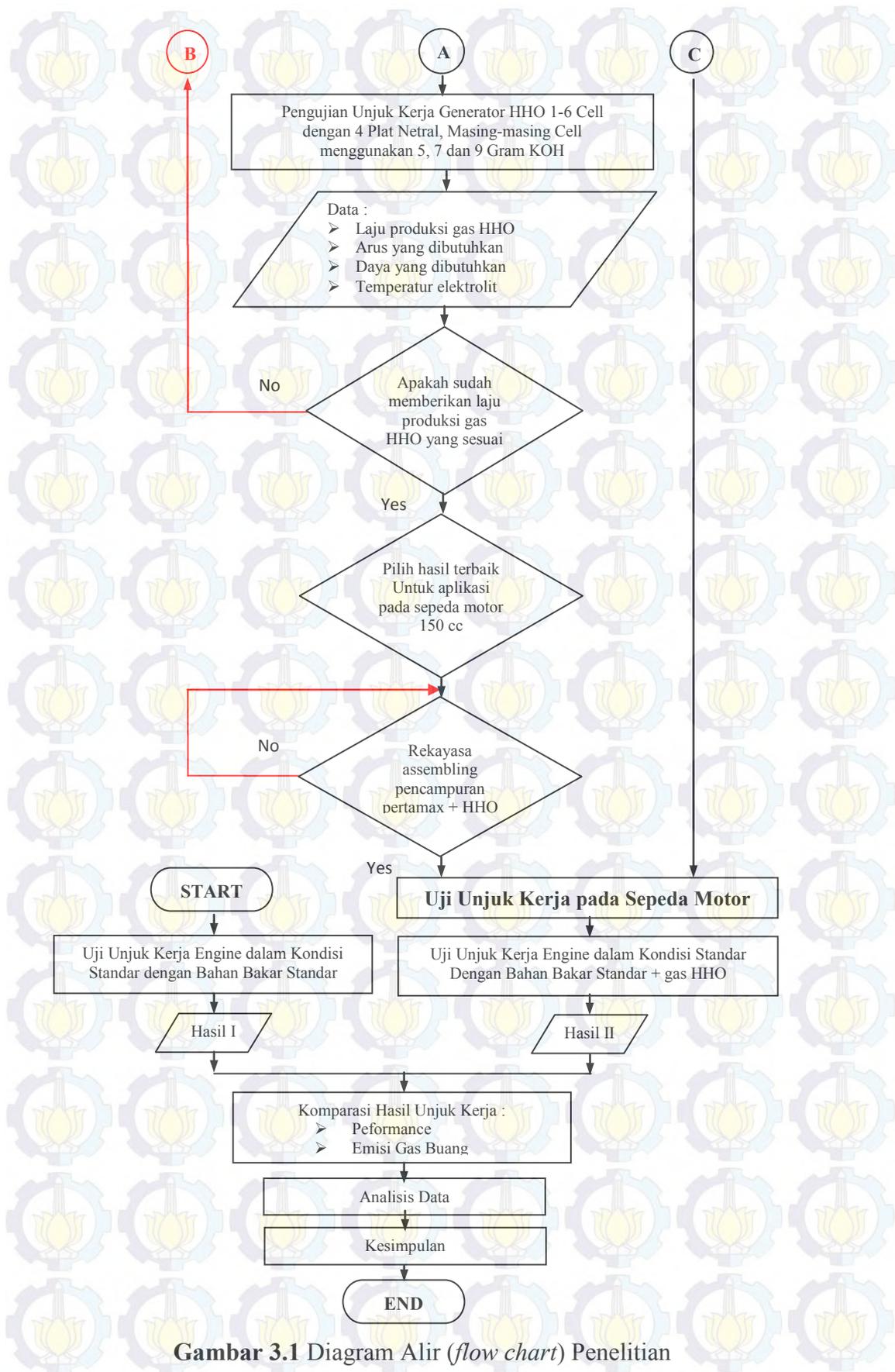
### 3.2 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian adalah uraian tentang prosedur atau langkah-langkah yang dilakukan oleh peneliti dalam upaya mengumpulkan dan menganalisis data.

Skema *flow chart* penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini.

#### Diagram Alir Penelitian

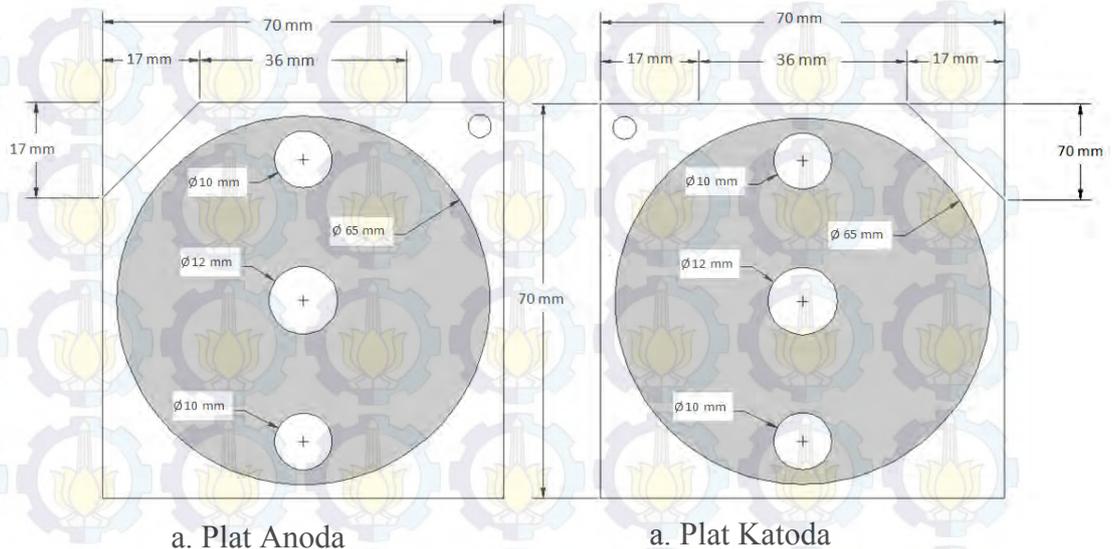




Gambar 3.1 Diagram Alir (flow chart) Penelitian

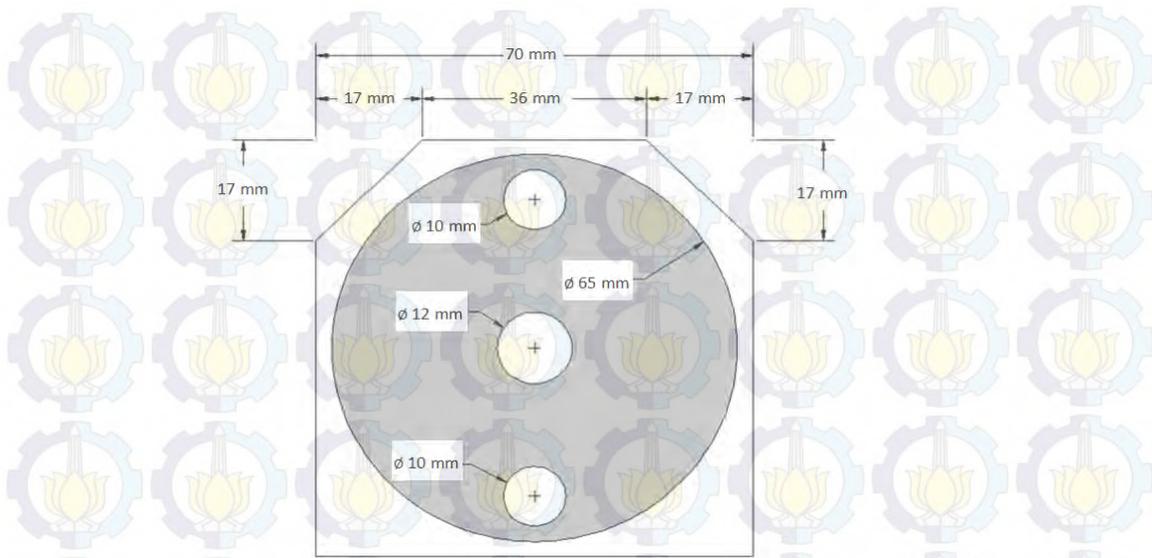
### 3.3 Desain dan Pembuatan Generator HHO *type dry*

1. Persiapan bahan utama generator HHO *type dry*
  - a. Plat stainless steel
  - b. Akreling
  - c. Seal
2. Tentukan ukuran plat katoda, anoda dan plat netral 70 mm x 70 mm
3. Lubangi bagian atas dan bawah plat dalam seal  $\varnothing 10$  mm x  $\varnothing 10$  mm
4. Lubangi bagian tengah plat dengan  $\varnothing 12$  mm.
5. Potong bagian sisi kiri atas sebagai plat anoda, lubang sisi kanan yang tidak dipotong sebesar  $\varnothing 6$  mm sebagai tempat masuknya baut untuk mengalirkan arus positif dari baterai. Selanjutnya potong bagian sisi kanan atas sebagai plat katoda, lubang sisi kiri yang tidak dipotong sebesar  $\varnothing 6$  mm sebagai tempat masuknya baut untuk mengalirkan arus negatif dari baterai. Seperti Gambar 3.2 di bawah ini :



**Gambar 3.2** Ukuran Plat Anoda dan Katoda

6. Ukuran plat dan besarnya lubang pada plat netral sama dengan plat anoda dan katoda, yang membedakan plat netral adalah pada bagian atas plat sisi kiri dan kanannya di potong. Pemotongan kedua sisi bertujuan agar tidak terjadi adanya hubungan langsung plat netral dengan plat anoda dan katoda. Seperti pada Gambar 3.3 berikut :



**Gambar 3.3** Ukuran Plat Netral

### 3.4 Proses Pemasangan atau Perangkaian Generator HHO tipe *dry*.

1. Persiapkan alat dan bahan

**Tabel 3.1** Alat dan bahan generator HHO tipe *dry*

Alat		Bahan	
Jenis	Ukuran (mm)	Jenis	Ukuran (mm)
• Kunci ring pas	• 8, 10, 12 dan	• Plat stainless steel	-
• Obeng Minus	14	anoda, katoda dan	
• Palu karet	-	netral tipe 316 L	
• Mistar baja	-	• Akrilik	• 100x100x70
		• Sheel (gasket)	• Ø     tebal sheel
			• Ø 63 dalam
			• Ø 65 luar
			• Ø 6
		• Stuk	• 8
		• Baut dan mur	-

2. Susun plat anoda pada akrilik, lubang sisi bagian atas di pasang baut dan ikat menggunakan mur, pasang sheel dengan memposisikan di atas plat anoda selanjutnya pasang 4 plat netral, masing-masing plat dibatasi

dengan sheel dan di lanjutkan pemasangan plat katoda dengan memasukan lubang baut pada sisi yang berlawanan dengan plat anoda. (terpasang 1 cell)

3. Untuk cell ke 2 sampai cell ke 6 lakukan hal yang sama seperti diatas
4. Kencangkan mur 12 pada sisi luar akrilik
5. Ukur panjang generator agar tekanan pada generator rata
6. Perhatikan Gambar 3.4 di bawah ini :



**Gambar 3.4** Cara Pemasangan Generator HHO

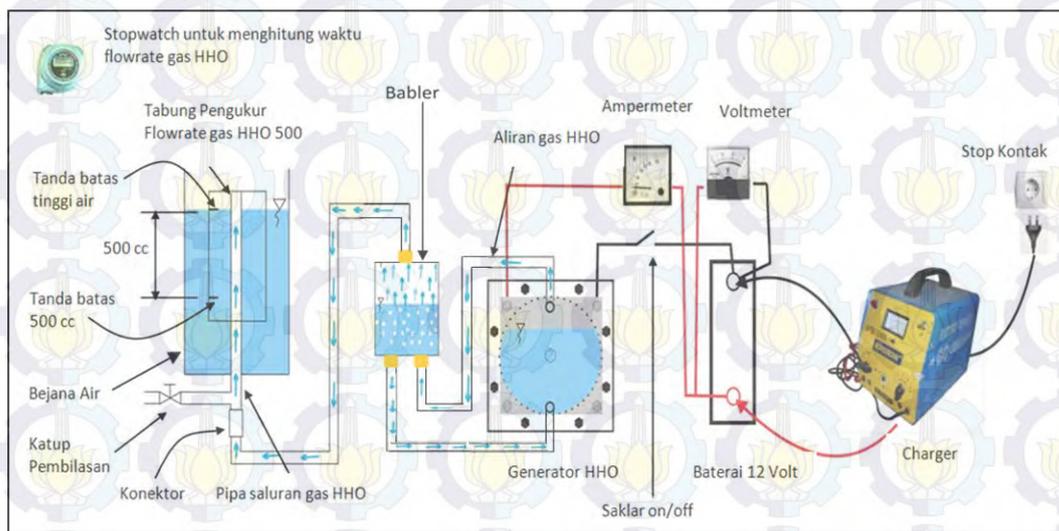
### **3.5 Peralatan dan Instrumen Penelitian**

Instrumen penelitian adalah alat ukur dan alat uji yang digunakan untuk mendapatkan data penelitian. Langkah dalam penelitian ini antara lain:

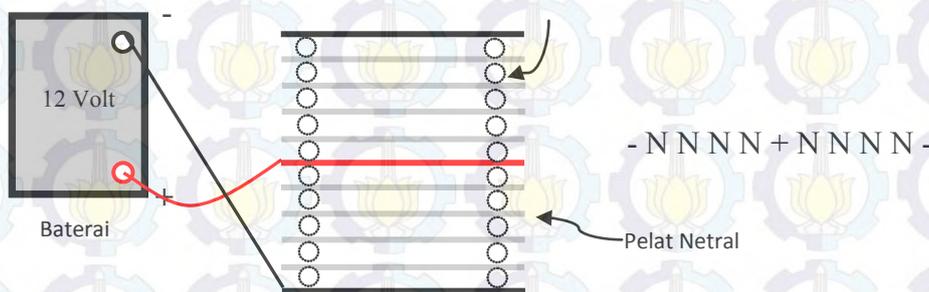
#### **3.5.1 Langkah Persiapan Pengukuran *Flowrate* Gas HHO**

Dalam tahapan persiapan ini perlu diperhatikan langkah - langkah untuk pengujian laju produksi gas HHO sebagai berikut :

1. Siapkan peralatan yang dibutuhkan.
2. Persiapkan dan pasangn rangkaian peralatan seperti Gambar 3.5



**Gambar 3.5** Skema Pengujian Generator HHO



**Gambar 3.6** Skema Kabel Menggunakan Plat Netral pada Generator HHO

3. Siapkan campuran KOH dengan aquades atau larutan elektrolit. Dalam bentuk 1 liter aquades yang dicampur dengan 5, 7 dan 9 gram KOH. Kemudian isikan ke dalam Generator gas HHO.
4. Isikan air ke dalam *bubler*.
5. Sambungkan Generator gas HHO dan *bubler* menggunakan selang gas HHO. Kemudian pastikan tidak ada sambungan yang bocor.
6. Pastikan alat pengukur arus, tegangan, dan termometer bekerja dengan baik.
7. Sambungkan *power supply* dari baterai ke generator HHO melalui kabel-kabel. Pastikan sambungan terminal positif dan terminal negatifnya sudah tepat.
8. Persiapkan Alat Ukur *Flowrate* Gas HHO.

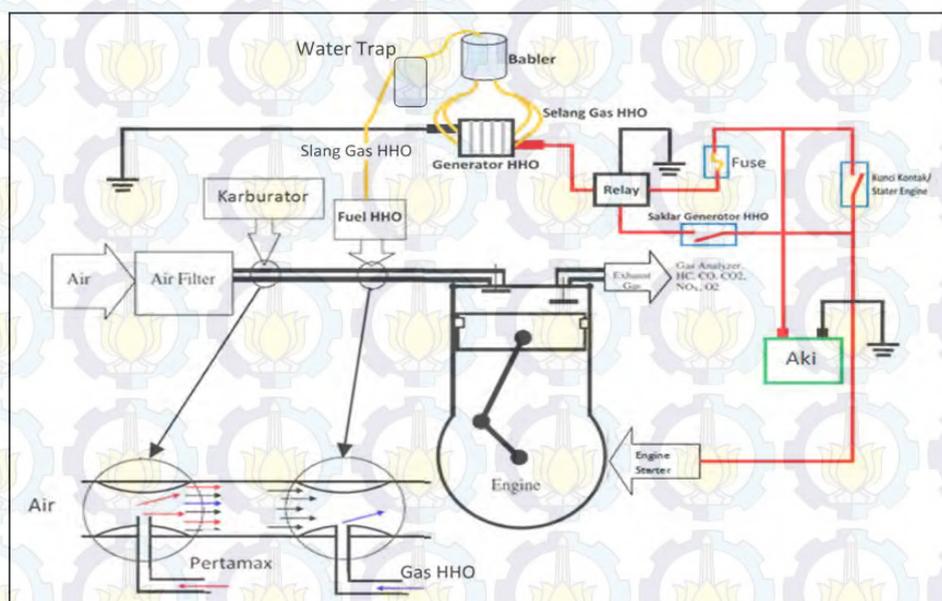
- Masukkan tabung pengukur 500 cc gas HHO ke dalam bejana air.
  - Isikan air ke dalam bejana sampai air sejajar dengan tanda batas tinggi air pada tabung pengukur *flowrate* gas HHO.
  - Untuk mengeluarkan udara yang terperangkap di dalam tabung pengukur dan *bubler*, buka katup pembilasan udara yang berada dibawah tabung pengukur.
  - Kemudian tutup katup pembilasan udara setelah tabung pengukur menyentuh ujung pipa saluran gas HHO.
9. Sambungkan *bubler* dan alat ukur *flowrate* gas HHO menggunakan selang plastik melalui konektor. Kemudian pastikan tidak ada sambungan yang bocor.
10. Untuk memastikan tidak ada udara yang terperangkap dalam sistem, maka dilakukan langkah pembilasan.
- Langkah pembilasan dilakukan beberapa saat sebelum pengujian.
  - Untuk memulainya dengan menghidupkan sistem produksi gas HHO, dengan menekan saklar ON. Tunggu beberapa menit sampai tabung pengukur gas HHO mencapai skala volume produksi 500 cc, kemudian matikan sistem dengan menekan saklar OFF.
  - Buang campuran gas HHO dan udara dengan membuka katup pembilasan. Tutup kembali setelah ujung tabung pengukur menyentuh ujung pipa saluran gas HHO.
  - Ulangi langkah di atas sebanyak 3 kali, untuk memastikan tidak ada udara yang terperangkap di dalam sistem. Kemudian dilanjutkan ke tahap pengujian.

### **3.5.2 Langkah Persiapan Pemasangan Alat Uji Gas HHO**

Persiapan pengujian menggunakan penambahan generator gas HHO tipe dry melewati beberapa tahapan, diantaranya :

1. Siapkan peralatan yang dibutuhkan
2. Pasang slang sirkulasi air elektrolisis pada *bubler*
3. Pasang slang gas HHO pada *bubler* ke intake manifold sepeda motor yang akan diuji

4. Lakukan perangkaian kabel, hubungkan kabel saklar generator HHO pada rangkaian kutup positif aki yang melewati kunci kontak. Ini bertujuan untuk *safety* pada gas HHO yang dihasilkan agar tetap terkontrol dalam *ON OF* generator.
5. Kabel dari saklar *ON OF* generator di hubungkan ke terminal positif generator melalui relay. Relay di gunakan dengan tujuan agar api yang masuk ke generator HHO lebih optimal (mengurangi losis pada kabel)
6. Hubungkan terminal negatif generator HHO ke masa atau bodi pada sepeda motor.
7. Masukkan air murni yang telah di campur dengan KOH kedalam *bubler*, dan tutup kembali.
8. Pastikan seluruh saluran gas tidak ada yang bocor
9. Hidupkan mesin sepeda motor dan *ON* kan saklar generator HHO, gas HHO siap jadi bahan bakar tambahan.



**Gambar 3.7** Skema Pengujian Generator HHO

### 3.5.3 Proses Kerja Penambahan Gas HHO dalam *Engine*.

1. Ketika saklar gas HHO dihidupkan (*ON*) arus pada baterai sepeda motor mengalir menuju generator HHO yang menyebabkan terjadinya elektrolisis pada air yang berada dalam generator.

2. Gas HHO yang dihasilkan generator akan keluar menuju tabung bubler. Tabung bubler berfungsi sebagai sirkulasi air pada generator dan penampungan awal gas HHO yang dihasilkan generator
3. Gas HHO dari tabung bubler langsung keluar menuju water trap, water trap mempunyai beberapa fungsi yaitu berfungsi sebagai tangki gas, sebagai pengaman jika terjadi api balik dari ruang bakar ke intake yang sangat membahayakan generator HHO, sebagai pengaman agar air tidak masuk kedalam ruang bakar sehingga air di dalam water trap hanya diberikan sepertiga dari volume tabung.
4. Gas HHO yang telah masuk kedalam water trap akan diteruskan ke intake manipol melalui selang penghubung. Kevakuman pada engine akan memudahkan dan mengoptimalkan mengalirnya gas HHO dari bubler. Ketika vakum engine sangat besar dan di khawatirkan air pada bubler terhisap, maka kurangi air pada bubler atau ganti dengan bubler yang lebih tinggi sampai air pada bubler tidak terhisap oleh vakum engine.

#### 3.5.4 Langkah Persiapan Pengujian Aplikasi Gas HHO pada Sepeda Motor



Gambar 3.8 Skema Instrumen Penelitian

#### a. Mesin Kendaraan

Mesin yang digunakan dalam penelitian ini adalah Mesin Honda New MegaPro 150 cc tahun perakitan 2014 dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Tipe mesin : 4 langkah, OHC
2. Sistem pendingin : Pendingin udara
3. Diameter x langkah : 57,3 mm x 57,8 mm
4. Kompresi rasio : 9,5 : 1
5. Volume silinder : 149,2 cc
6. Daya maksimum : 10,1 kW / 8500 rpm
7. Torsi maksimum : 12,8 N.m / 6.500 rpm
8. Sistem pengapian : DC -CDI

#### b. Exhaust Gas Analyzer

*Exhaust gas analyzer* adalah alat yang digunakan untuk mengukur kadar emisi gas buang yang merupakan hasil dari proses pembakaran mesin. Merk yang digunakan jenis star gas.

#### c. Rpm Counter

Rpm Counter adalah alat yang digunakan untuk mengukur putaran mesin. Adapun spesifikasinya sebagai berikut:

1. Merk : BrainBee
2. Type : MGT - 300
3. No Seri : 080317000579
4. Tahun Pembuatan : 2008
5. Pembuatan : Italia
6. Rpm Counter : 0 ÷ 9990 Rpm
7. Resulation : 10 Rpm
8. Temperature Meter : 0 ÷ 40 oC
9. Power Suply : 11 ÷ 45 Vdc
10. Periodic Control : 12 bulan

#### d. Chassis Dynamometer

*Chassis Dynamometer* adalah alat yang digunakan untuk mengukur torsi yang dihasilkan mesin. *Chassis Dynamometer* di Laboratorium Pengujian

Performa Mesin Jurusan Pendidikan Teknik Mesin FT Unesa dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Nama : Rextor Pro - Dyno
2. Tegangan : 220 V 50/60 Hz
3. Range operasi : 6.000 rpm dengan 150 gigi
4. Kemampuan : 15 KHz
5. Tipe Sensor : Digital Pick-Up
6. Tipe Input : Logical level (aktif pada tingkat tinggi)
7. Produksi : PT. Rextor Technology Indonesia

#### e. Stopwatch

Fungsi *stopwatch* sebagai alat bantu dalam menghitung waktu konsumsi bahan bakar pada saat pengujian. Spesifikasi *stopwatch* yang digunakan adalah:

1. Merk : Seiko
2. Penunjukan data : Digital
3. Ketelitian : 0,01 detik

#### f. Blower

Blower digunakan untuk mendinginkan mesin sewaktu pergantian pengujian. Adapun spesifikasinya adalah:

1. Merk : Krisbow
2. Model : EF- 50 S
3. Power : 200 – 220 V AC ~ 50 Hz 160 watt
4. SNI : 04 – 6292. 2,2 . 80
5. Pilihan : 3 Kecepatan

### 3.6 Prosedur Pengujian

#### 3.6.1 Pengujian Emisi Gas Buang

Adapun prosedur pengujian emisi gas buang adalah sebagai berikut:

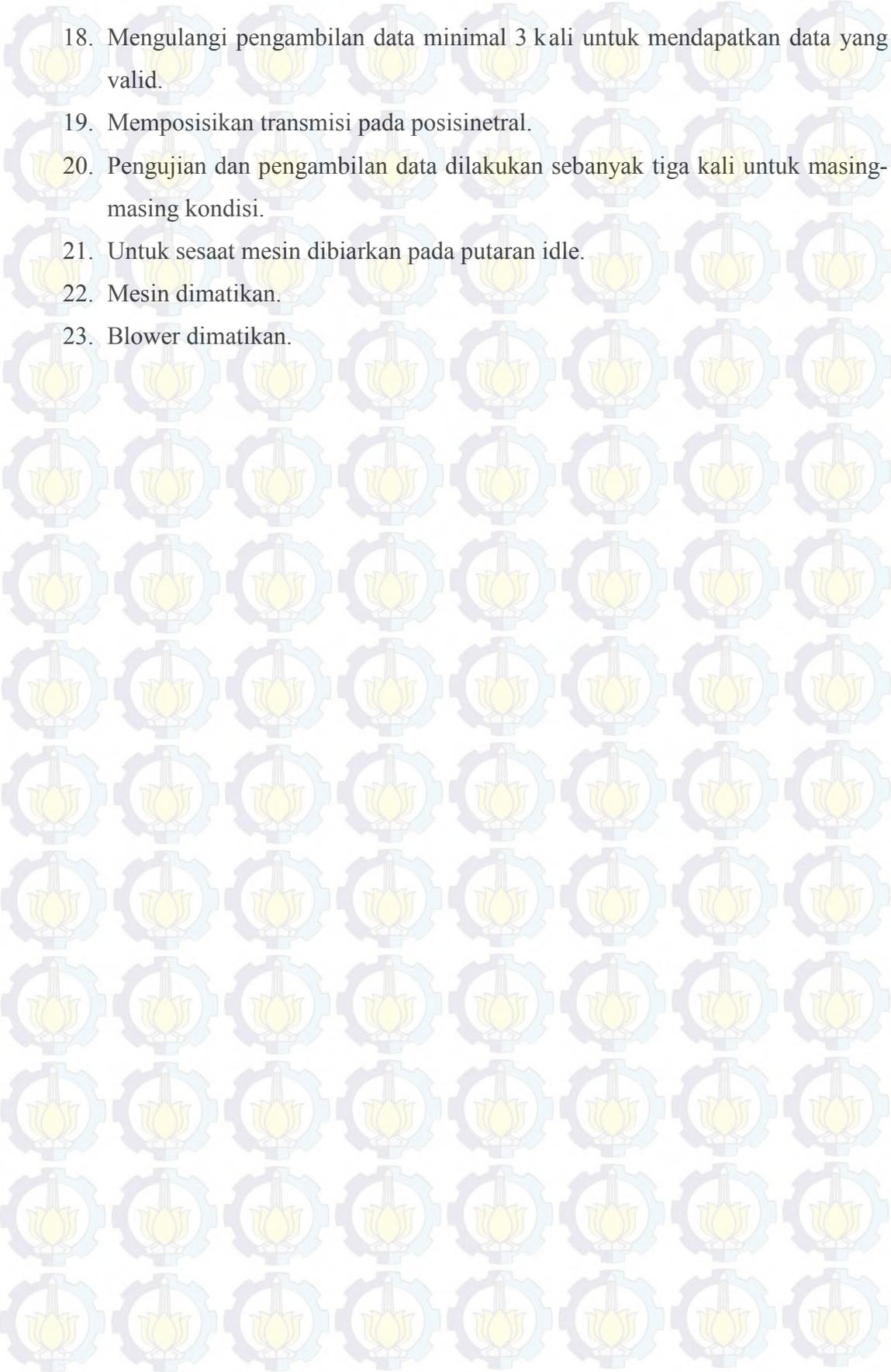
1. Siapkan kendaraan yang akan diuji emisinya.
2. Lakukan pengecekan pada pipa gas buang (knalpot). Apabila pipa gas buang atau muffler ”bocor”, maka kendaraan tidak dapat diukur konsentrasi emisi gas buangnya.
3. Pastikan transmisi dalam keadaan netral.

4. Pastikan *choke* keadaan dalam tidak bekerja.
5. Pastikan kendaraan bekerja pada temperatur kerja
6. Pasang temperatur oli, sensor putaran mesin (rpm) pada kendaraan uji.
7. Masukkan sensor gas (*gas probe*) kedalam pipa gas buang minimal 30 cm untuk menghindari kesalahan data.
8. Tunggu minimal 20 detik sampai data pada layar monitor stabil.
9. Cetak (*print*) data hasil pengujian atau catat pada formulir pencatatan data.

### 3.5.2 Pengujian Performa Mesin

Pengujian dilakukan dengan prosedur sebagai berikut:

1. Melakukan *tune-up* pada sepeda motor yang akan diuji.
2. Melepaskan cover samping sepeda motor.
3. Menaikkan sepeda motor keatas chassis dynamometer.
4. Mengencangkan tali pengikat body sepeda motor.
5. Menyiapkan peralatan pendukung, yaitu: sensor putaran mesin, *chassis dynamometer*, *4 in 1 multi-function environment meter*, *rpm counter* dan *oil temperature meter*, *fuel meter*, *stopwatch*, dan *blower*.
6. Menghidupkan *software inersia chassis dynamometer*.
7. Menginput spesifikasi kendaraan pada *software inersia chassis dynamometer*.
8. Memilih faktor koreksi SAE 1349.
9. Memasukkan data ambient temperature dan humidity.
10. Menghidupkan mesin kendaraan sampai temperatur 60°C-70°C.
11. Memosisikan gigi transmisi pada kondisi netral dengan putaran idle 1400 ± 100 rpm.
12. Memasukkan gigi transmisi pada posisi 4 (top gear).
13. Menaikkan putaran mesin hingga putaran 3000 rpm sampai roda belakang berputar.
14. Tekan tombol *switch* untuk memulai *me-record* data.
15. Melakukan akselerasi hingga didapat kanputaran mesin maksimum (10000 rpm).
16. Tekan tombol *switch* untuk mengakhiri *record* data.
17. Menurunkan putaran mesin hingga putaran idle.



18. Mengulangi pengambilan data minimal 3 kali untuk mendapatkan data yang valid.

19. Memosisikan transmisi pada posisinetral.

20. Pengujian dan pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali untuk masing-masing kondisi.

21. Untuk sesaat mesin dibiarkan pada putaran idle.

22. Mesin dimatikan.

23. Blower dimatikan.

## BAB 4

### HASIL DAN ANALISA DATA

#### 4.1 Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian dan hasil perhitungan untuk kelompok kontrol dan kelompok uji generator HHO serta pengujian aplikasi pada sepeda motor disajikan dalam bentuk tabel dan grafik pada lampiran.

##### 4.1.1 Perhitungan Performa Generator HHO

Data generator HHO pada pengujian aplikasi sepeda motor dengan menggunakan 6 cell 4 netral. Data performa generator hasil pengujian lab berbeda dengan aplikasi pada sepeda motor, disebabkan karena perbedaan pada kapasitas *battery* yang digunakan antara pengujian lab dengan kapasitas pada sepeda motor.

Berikut data performa generator :

- Tegangan listrik pada generator listrik = 13 v
- Arus listrik pada generator HHO = 7,5 A
- Waktu produksi Gas HHO = 63 detik
- Volume gas terukur = 500 ml

Properties HHO :

- Massa jenis gas HHO = 0,491116 kg/m<sup>3</sup>
- NKB Gas HHO = 13325 kJ/kg
- Tekanan gas HHO = 1 atm
- Konstanta gas universal ( $\bar{R}$ ) = 0,08206  $\frac{\text{L.atm}}{\text{mol.K}}$  (Chang,2004)
- Nilai energi enthalpy (h) ialah energi yang dibutuhkan untuk menguraikan gas H<sub>2</sub>O menjadi H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> pada kondisi gas ideal, STP :  $\Delta h = + 285,84 \times 10^3 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$  (chem-is-try.org) Reaksi endoterm yang menghasilkan energi entalphi yang bernilai positif (+).

### A. Daya Generator

Rumus untuk menghitung konsumsi daya listrik yang digunakan oleh generator gas HHO adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P &= V \times I \\ &= 13 \text{ V} \times 7,5 \text{ A} \\ &= 97,5 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Jadi daya yang dibutuhkan untuk memproduksi gas HHO sebanyak 500 cc adalah 97,5 Watt.

### B. Laju Produksi gas HHO

Laju produksi gas HHO dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\dot{m} = Q \times \rho_{\text{HHO}}$$

Dimana:

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{0,5 \text{ Liter}}{63 \text{ detik} \times \frac{\text{menit}}{60 \text{ detik}}} = 0,476 \text{ liter/menit}$$

Maka:

$$\begin{aligned} \dot{m} &= Q \times \rho_{\text{HHO}} \\ &= 0,476 \text{ liter/menit} \times 0,491116 \text{ kg}/(\text{m}^3 \times 1000 \text{ liter}/\text{m}^3) \\ &= 2,337 \times 10^{-4} \text{ kg/menit} \\ &= 0,233 \text{ gr/menit} \end{aligned}$$

### C. Efisiensi Generator

Effisiensi Generator HHO dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\text{Energi yang digunakan untuk elektrolisa}}{\text{Energi yang dibutuhkan generator}} \times 100 \\ &= \frac{\Delta h \times \dot{m}}{(V \times I)} \times 100\% \end{aligned}$$

Dimana:

$\Delta h$  = Energi entalpi yang dihasilkan (J/mol)

$\dot{V}$  = Volume per detik (Liter/s)

$\dot{n}$  = Molaritas senyawa per waktu (mol/s)

$V$  = Tegangan (Volt)

$I$  = Arus (Ampere)

Energi yang digunakan untuk elektrolisa (output)

$$\text{Daya (P)} = V \times I$$

$$= 13 \text{ V} \times 7,5 \text{ A} = 97,5 \text{ Watt} = 97,5 \text{ J/s}$$

Energi yang dibutuhkan generator untuk menghasilkan gas HHO (input) Untuk mencari nilai  $\dot{n}$ , menggunakan rumus gas ideal:

$P \times \dot{V} = \dot{n} \times R \times T$  (Nilai volume dan mol adalah per satuan waktu untuk menyamakan energi yang digunakan per satuan waktu).

Dimana :

$P$  = Tekanan gas ideal (atm)

$V$  = Volume gas terukur (L)

$n$  = Molaritas senyawa (mol)

$\bar{R}$  = Konstanta Gas universal (L.atm/mol.K)

$T$  = Suhu, 298°K.

$$\dot{n} = \frac{P \times \dot{V}}{R \times T} = \frac{1 \text{ atm} \times \left(\frac{0,5 \text{ L}}{63 \text{ dtk}}\right)}{0,08206 \frac{\text{L. atm}}{\text{mol. K}} \times 298^\circ \text{ K}}$$

$$\dot{n} = 3,245 \times 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{s}}$$

Sehingga energi yang dibutuhkan generator untuk menghasilkan gas HHO adalah:

$$\Delta h_f \times \dot{n} = 285,84 \times 10^3 \frac{\text{J}}{\text{mol}} \times 3,245 \times 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{s}}$$

$$\Delta h_f \times \dot{n} = 92,34 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

Maka, Efisiensi yang didapatkan :

$$\eta_{\text{Gen}} = \frac{\Delta h_f \times \dot{n}}{(V \times I)} \times 100 \%$$

$$\eta_{\text{Gen}} = \frac{92,34 \frac{\text{J}}{\text{s}}}{97,5 \text{ watt}} \times 100 \%$$

$$\eta_{\text{Gen}} = 94,70 \%$$

#### 4.1.2 Perhitungan Sfc (*Specific fuel consumption*)

Contoh perhitungan konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) diambil dari data eksperimen kelompok kontrol sebagai berikut:

Kecepatan mesin	: 3000 rpm
Power	: 1,491 kW
Waktu konsumsi bahan bakar/ 10 ml	: 78 detik
Density bahan bakar	: 0,751 kg/l

Konsumsi bahan bakar spesifik (*specific fuel consumption/SFC*) dicari dengan menggunakan persamaan (2) sebagaimana berikut:

$$\text{SFC} = \frac{\dot{m}_f}{\dot{W}} = \frac{\rho_f \times Q}{\dot{W}} = \frac{\rho_f \times V}{\dot{W} \times s}$$

$\dot{m}_f$  merupakan *flow rate* dari bahan bakar dan  $\dot{W}$  merupakan *power* yang dihasilkan. *Flow rate* ( $\dot{m}_f$ ) bisa dicari dengan mengalikan density bahan bakar dengan Q. Q merupakan debit pemakaian bahan bakar yang bisa dicari dengan membagi sejumlah bahan bakar dalam volume tertentu dengan waktu yang dibutuhkan untuk menghabiskan bahan bakar tersebut. Dalam hal ini bahan bakar sejumlah 10 ml (V) membutuhkan waktu 60,28 detik (s) untuk habis. *Density* pertamax ( $\rho_f$ ) adalah 0,7058 kg/l, sehingga:

$$\text{SFC} = \frac{0,751 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \times 0,01 \text{ l} \times 3600 \text{ detik}}{60,28 \text{ detik} \times 1,491 \text{ kW} \times 1 \text{ jam}}$$

$$SFC = 0,3008 \frac{\text{kg}}{\text{kW.jam}}$$

Adapun untuk menghitung konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) campuran pertamax dan HHO nilai *density* dari campuran pertamax + HHO tersebut berbeda dengan *density* pertamax murni. Berdasarkan perhitungan dari data yang ada dengan mengabaikan oksigen yang ada pada HHO, nilai *density* dari campuran pertamax-HHO tersebut adalah nilai *density* HHO + *density* pertamax (0.00049 kg/l + 0.751 kg/l = 0.75149 kg/l)

Contoh perhitungan konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) untuk campuran pertamax dan HHO :

Kecepatan mesin : 3000 rpm

Power : 2,983 kW

Waktu konsumsi bahan bakar/ 10 ml : 61,06 detik

Density bahan bakar : 0,75149 kg/l

Menggunakan persamaan:

$$SFC = \frac{\rho_f \times V}{\dot{W} \times s}$$

$$SFC = \frac{0.75149 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \times 0,01 \text{ l} \times 3600 \text{ detik}}{61,06 \text{ detik} \times 2,983 \text{ kW} \times 1 \text{ jam}}$$

$$SFC = 0,148 \frac{\text{kg}}{\text{kW.jam}}$$

Hasil perhitungan konsumsi bahan bakar spesifik (*SFC*) secara lengkap disajikan dalam bentuk tabel pada lampiran dan digambarkan dalam bentuk grafik untuk mempermudah analisis

### 4.1.3 Perhitungan Efisiensi Thermal

Efisiensi thermal ( $\eta_t$ ) dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\eta_t = \frac{\dot{W}}{\dot{m}_f \times Q_{HV}}$$

Dimana:

$\dot{W}$  : power (kW)

$\dot{m}_f$  : flow rate bahan bakar (kg/detik)

$Q_{HV}$  : heating value dari bahan bakar (kJ/kg)

Karena nilai  $SFC$  sudah diketahui, sedangkan untuk mencari  $SFC$  digunakan persamaan :

$$SFC = \frac{\dot{m}_f}{\dot{W}}$$

Sehingga persamaan di atas bisa dirubah menjadi persamaan sebagaimana berikut:

$$\eta_t = \frac{1}{SFC \times Q_{HV}}$$

Dimana:

$SFC$  : Konsumsi bahan bakar spesifik (kg/kW.detik)

$Q_{HV}$  : Heating value dari bahan bakar (kJ/kg)

Apabila  $SFC$  yang diketahui memiliki satuan kg/kW.jam maka persamaan bisa dirubah menjadi persamaan sebagaimana berikut :

$$\eta_t = \frac{3600}{SFC \times Q_{HV}}$$

Dimana :

$SFC$  : Konsumsi bahan bakar spesifik (kg/kW.jam)

Contoh perhitungan diambil dari data eksperimen kelompok control sebagai berikut :

Putaran mesin : 3000 rpm

$SFC$  : 0,3008 kg/kW.jam

Heating value Pertamina : 45950 kJ/kg

$$\eta_t = \frac{3600 \text{ detik} \times 0,746}{0,3008 \frac{\text{kg}}{\text{kW} \cdot \text{jam}} \times 45950 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

$$\eta_t = 0,194$$

$$\eta_t = 19,43 \%$$

Contoh perhitungan *efisiensi thermal* ( $\eta_t$ ) untuk bahan bakar campuran pertamax dan HHO:

Putaran mesin : 3000 rpm

*SFC* : 0,148 kg/kW.jam

*Heating value* HHO + pertamax

*Heating value* pertamax : 45950 kJ/kg

*Heating value* HHO : 13325 kJ/kg

Debit bahan bakar rata-rata per putaran dalam 10 ml

Pertamax : 36,91 detik

Pertamax + HHO : 39,33 detik

Persentase penambahan : 6,1644 %

Sehingga *Heating value* HHO + pertamax

$$\begin{aligned} \text{HV Pertamax + HHO} &= \frac{6,1644 \% \times 13325 \text{ kJ/kg}}{100 \%} \\ &= 821,40 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 45950 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ &= 46771,40 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{aligned}$$

Maka besarnya efisiensi thermal adalah :

$$\eta_t = \frac{3600 \text{ detik} \times 0,746}{0,148 \frac{\text{kg}}{\text{kW} \cdot \text{jam}} \times 46771,40 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

$$\eta_t = 0,387$$

$$\eta_t = 38,7 \%$$

Hasil perhitungan *efisiensi thermal* ( $\eta_t$ ) secara lengkap disajikan dalam bentuk tabel pada lampiran 2 dan digambarkan dalam bentuk grafik untuk mempermudah analisis.

Sebagai berikut :

#### 4.1.4 Perhitungan BMEP

Tekanan efektif rata-rata (*brake mean effective pressure*) dicari dengan menggunakan persamaan (3) sebagaimana berikut:

$$b_{mep} = \frac{P \times z}{A \times L \times n \times i}$$

Untuk mesin empat langkah, nilai  $z$  adalah 2.  $z$  merupakan jumlah putaran poros engkol untuk menghasilkan kerja dalam satu siklus kerja.

Contoh perhitungan diambil dari data eksperimen kelompok control sebagai berikut:

Kecepatan mesin (N) : 3000 rpm

Daya mesin (P) : 1,789 kW

Diameter piston (D) : 57,3 mm

Panjang langkah piston : 67,8 mm

Volume langkah ( $V_d$ ) : 149,5 cm<sup>3</sup>

Jumlah silinder (i) : 1

Luasan piston (A) dicari dengan menggunakan persamaan sebagaimana berikut :

$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

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

Volume langkah ( $V_d$ ) dicari dengan menggunakan persamaan :

$$V_d = A \times L$$

Karena volume langkah ( $V_d$ ) sudah diketahui dari spesifikasi yaitu  $149,5 \text{ m}^3$ , maka persamaan (2) bisa diganti menjadi persamaan sebagaimana berikut :

$$b_{mep} = \frac{P \times z}{V_d \times n \times i}$$

Sehingga tekanan efektif rata-rata ( $BMEP$ ) dengan bahan bakar pertamax dari kelompok kontrol bisa dicari sebagaimana berikut:

$$b_{mep} = \frac{1,789 \text{ kW} \times 2}{2,577 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \times 0,678 \text{ m} \times \left(\frac{3000}{60}\right) \text{ detik}^{-1} \times 1}$$

$$b_{mep} = \frac{1,789 \text{ kW} \times 2 \times 60 \text{ detik}}{0,0001747 \text{ m}^3 \times 3000 \times 1}$$

$$b_{mep} = 409 \text{ kPa}$$

Tekanan efektif rata-rata ( $BMEP$ ) dengan penambahan bahan bakar gas HHO pada pertamax dari kelompok kontrol bisa dicari sebagaimana berikut:

$$b_{mep} = \frac{3,057 \text{ kW} \times 2}{2,577 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \times 0,678 \text{ m} \times \left(\frac{3000}{60}\right) \text{ detik}^{-1} \times 1}$$

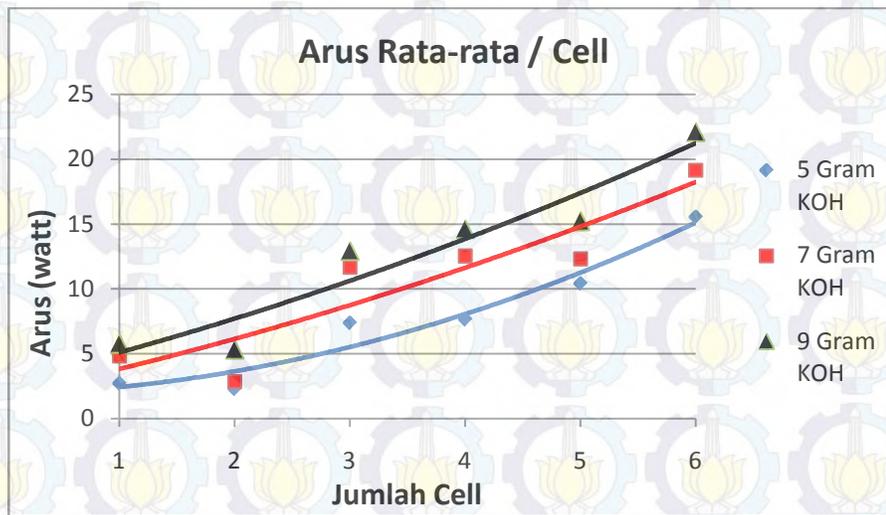
$$b_{mep} = \frac{3,057 \text{ kW} \times 2 \times 60 \text{ detik}}{0,0001747 \text{ m}^3 \times 3000 \times 1}$$

$$b_{mep} = 699 \text{ kPa}$$

#### 4.2 Analisis Performa Generator HHO tipe dry

Pada sub bab ini akan ditampilkan grafik serta analisa dari data-data yang telah diambil. Adapun yang akan dianalisa adalah parameter performa generator gas HHO seperti jumlah masa KOH terhadap amper, jumlah masa KOH terhadap laju produksi, serta jumlah masa KOH terhadap efisiensi generator HHO

#### 4.2.1 Arus yang di Butuhkan Generator gas HHO

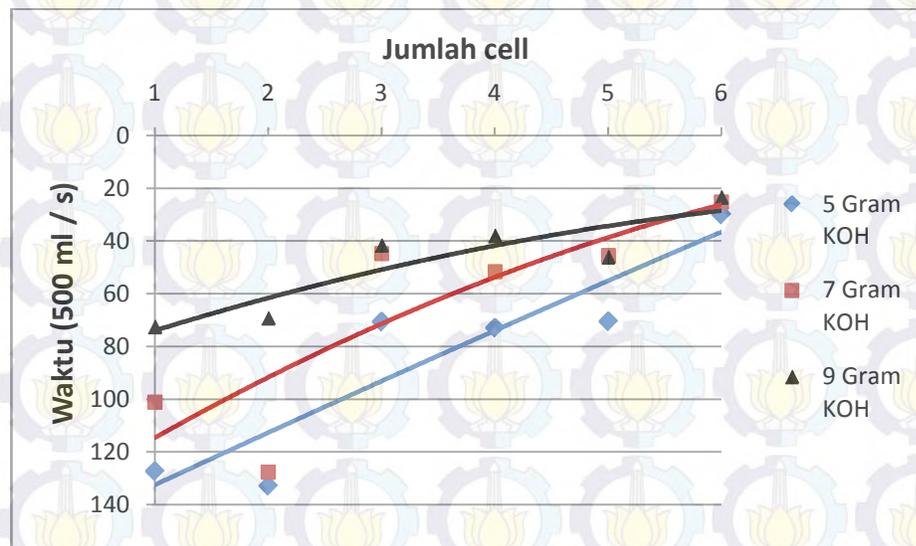


**Gambar 4.1** Amper Generator gas HHO Terhadap Jumlah Massa KOH pada Masing-masing Cell.

Hasil uji generator pada Gambar 4.1 merupakan nilai rata-rata dari setiap hasil pengujian pada masing-masing cell yang dilakukan selama 120 menit setiap cell dengan kandungan jumlah konsentrasi KOH yang berbeda seperti terlihat pada lampiran. Dari hasil uji pada grafik 4.1 terlihat adanya beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya peningkatan besar amper yaitu jumlah campuran larutan elektrolit (KOH), larutan elektrolit akan mempengaruhi besarnya energy yang dibutuhkan agar bias terjadi reaksi kimia dalam larutan (*Svante Arrhenius, 1903*). Larutan elektrolit yang mengandung ion-ion (anion dan kation) berfungsi sebagai penghantar arus listrik, hal inilah yang mempengaruhi besarnya arus listrik. Efek dari arus listrik yang semakin besar menyebabkan pergerakan ion-ion tersebut akan semakin cepat. Semakin cepat pergerakan ion-ion akan menimbulkan gesekan antara ion yang semakin besar sehingga temperature larutan semakin tinggi dan semakin lama suatu larutan bereaksi menyebabkan kondisi larutan akan semakin jenuh hal inilah yang menyebabkan berkurangnya persentase peningkatan laju produksi dari 7 gram KOH ke 9 gram KOH.

Semakin banyak jumlah cell maka akan semakin besar produksi gas HHO yang dihasilkan terlihat pada gambar 4.1 di atas. Peningkatan ini disebabkan banyaknya jumlah ruang plat yang menghasilkan gas HHO karena masing2 cell menghasilkan gas HHO pada setiap kutup positif dan negatifnya, terlihat pada gambar 2.7.

#### 4.2.2 Waktu Produksi Gas HHO Terhadap Jumlah Massa KOH Pada Masing-masing Cell.d



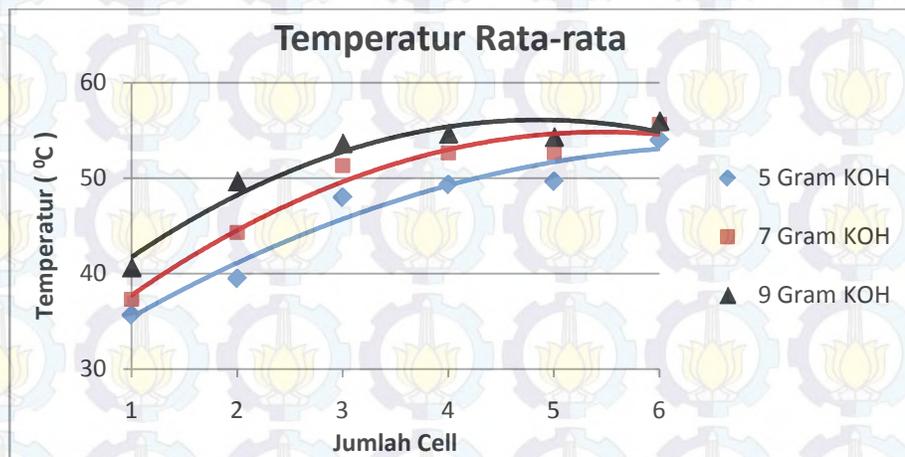
**Gambar 4.2** Waktu Produksi Generator gas HHO Terhadap Jumlah Massa KOH pada Masing-masing Cell.

Waktu dan lama serta perlakuan pengambilan data hasil uji generator pada Gambar 4.2 diambil bersamaan dengan hasil uji ampre pada generator. Dari hasil uji pada gambar 4.2 diatas terlihat tren yang berbanding lurus dengan hasil pengujian arus yaitu pada gambar 4.1. Hal ini disebabkan efek dari arus listrik yang semakin besar sehingga pergerakan ion-ion tersebut akan semakin cepat. Semakin cepat pergerakan ion-ion akan menimbulkan gesekan antara ion yang semakin besar sehingga temperatur larutan semakin tinggi dan semakin lama suatu larutan bereaksi menyebabkan kondisi larutan akan semakin jenuh hal inilah yang menyebabkan berkurangnya persentase peningkatan laju produksi pada 9 gram KOH jika dibandingkan dengan 7 gram KOH dan 5 gram KOH yang menghasilkan peningkatan

produksi signifikan. Besarnya suhu temperature pada generator juga akan mempengaruhi penghasilan gas HHO, jika tempratur semakin besar akan menyebabkan banyaknya energi yang keluar sehingga menyebabkan berkurangnya kemampuan elektrolisasi pada generator yang berakibat terhadap ikut berkurangnya hasil produksi gas HHO, ini terlihat pada generator HHO yang menggunakan 6 cell dengan campuran konsentrasi 9 gram KOH yaitu pada temperature 56 °C .

Jumlah cell juga ikut mempengaruhi hasil produksi gas HHO. Semakin banyak jumlah cell maka akan semakin besar produksi gas HHO yang dihasilkan terlihat pada gambar 4.2 diatas. Peningkatan ini disebabkan banyaknya jumlah ruang plat yang menghasilkan gas HHO karena masing-masing cell menghasilkan gas HHO pada setiat kutup positif dan negatifnya, terliat pada gambar 2.7.

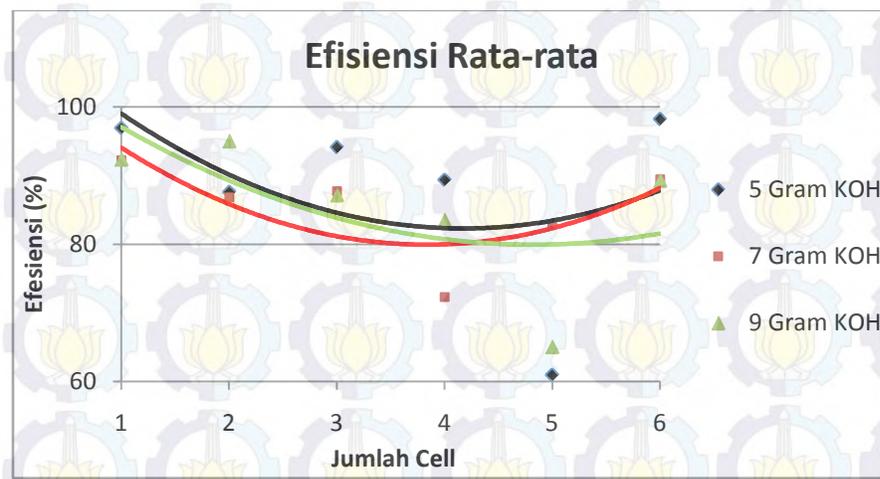
#### 4.2.3 Temperature Generator gas HHO



**Gambar 4.3** Temperatur Generator gas HHO Terhadap Jumlah Massa KOH pada Masing-masing Cell.

Lama waktu dan perlakuan pengambilan data hasil uji generator pada Gambar 4.3 diambil bersamaan dengan hasil uji ampre dan waktu produksi (gambar 4.1 dan 4.2) pada generator. Dari hasil uji pada gambr 4.3 diatas terlihat tren yang berbanding lurus dengan hasil pengujian amper dan waktu produksi. Ini disebabkan seperti analisa pada grafik gambar 4.1 da n 4.2 di mana ketiga grafik ini mempunyai hubungan yang linier yaitu amper, laju produksi dan temperature.

#### 4.2.4 Efisiensi Generator gas HHO

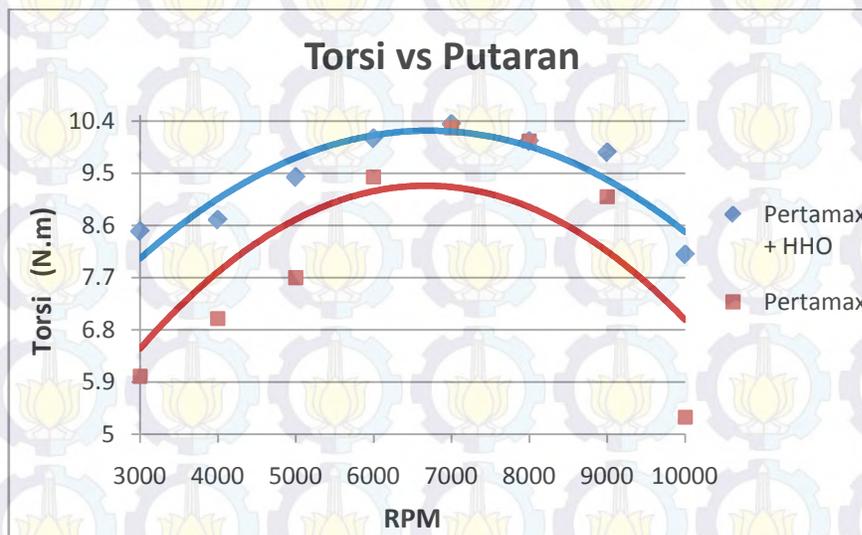


**Gambar 4.4** Efisiensi Generator gas HHO Terhadap Jumlah Massa KOH pada Masing-masing Cell.

Dari gambar 4.4 di atas terlihat bahwa trendline yang berbanding terbalik dengan grafik pada gambar 4.1, gambar 4.2 dan gambar 4.3. Hal ini disebabkan karena semakin besar arus yang masuk pada generator maka semakin besar pula nilai losses panas yang keluar dari generator sehingga terjadi pengurangan nilai efisiensi pada kerja generator. Terlihat pada trendline 9 gram KOH adanya penurunan efisiensi yang sangat signifikan pada grafik di atas, ini disebabkan temperatur yang sangat tinggi pada generator HHO ketika menggunakan cell empat, lima dan enam.

#### 4.3 Analisa unjuk Kerja Terhadap Torsi dan Daya dengan Penambahan Gas HHO.

Unjuk kerja mesin outo tidak sama untuk setiap putaran. Untuk itu perlu diketahui karakteristik performa engine untuk masing-masing putaran yang diberikan. Selain itu penambahan generator gas HHO akan membuat karakteristik performa engine menjadi berbeda pada torsi dan daya mesin. Torsi dan daya yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar pertamax dengan pertamax + gas HHO.

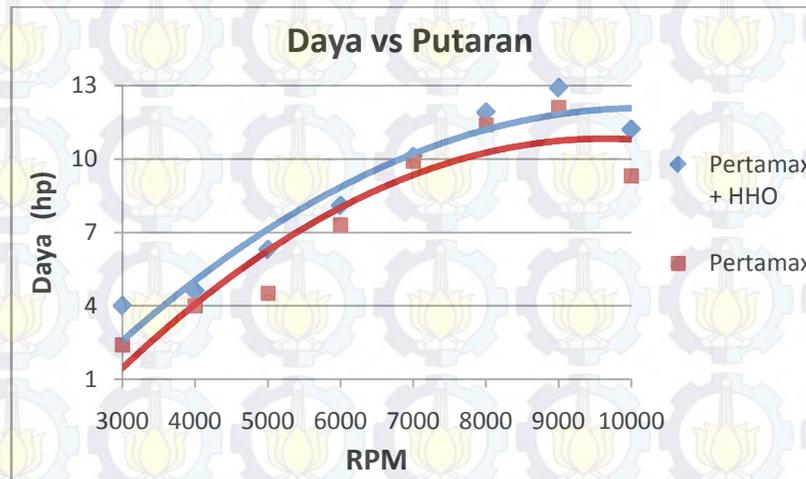


**Gambar 4.5** Torsi Mesin Menggunakan Bahan Bakar Pertamax dengan Pertamax + gas HHO Terhadap RPM

Gambar 4.5 memperlihatkan bahwa pada putaran mesin rendah (3000 rpm sampai 6000 rpm) torsi yang dihasilkan meningkat ini disebabkan karna adanya penambahan pasokan energi bahan bakar yang masuk kedalam ruang bakar seiring bertambahnya besar putaran mesin sedangkan kerugian gesekan tidak begitu besar karna putaran mesin yang belum maksimal, namun dengan bertambahnya putaran mesin torsi mencapai titik maksimum (putaram mesin 7000 rpm), kemudian torsi yang dihasilkan berkurang seiring dengan bertambahnya putaran mesin. Berkurangnya torsi ketika putaran mesin bertambah disebabkan karena nilai AFR aktual yang semakin miskin seiring dengan meningkatnya putaran mesin. Kemudian disebabkan karena semakin tinggi putaran mesin maka semakin cepat pula saat pembukaan dan penutupan katup buang sehingga saat pemasukan campuran bahan bakar dan udara kedalam silinder semakin singkat yang menyebabkan efisiensi volumetrik menurun yang mengakibatkan tekanan hasil pembakaran menurun sehingga torsi juga mengalami penurunan.

Penggunaan pembahan bahan bakar gas HHO pada bahan pertamax murni lebih tinggi dibandingkan torsi yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar

pertamax tanpa gas HHO, peningkatan torsi sebesar 29,41 % pada putaran 3000 rpm. Peningkatan ini terjadi karena gas HHO yang dihasilkan oleh generator memiliki nilai kalor yang sangat tinggi sehingga dengan penambahan bahan bakar gas HHO juga menambah jumlah energi yang di masukkan kedalam ruang bakar untuk dibakar.



**Gambar 4.6** Daya Mesin Menggunakan Bahan Bakar Pertamax dengan Pertamax + gas HHO Terhadap RPM

Pada gambar 4.6 terlihat bahwa daya mesin bertambah seiring dengan bertambahnya putaran mesin, ini dipengaruhi oleh torsi yang di hasilkan pada mesin karena daya yang dihasilkan akan berbanding lurus dengan torsi, dimana torsi cenderung meningkat dari putaran 3000 rpm sampai 7000 rpm. Daya mesin maksimum (putaran 9000 rpm) dan kemudian berkurang pada putaran mesin yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena kerugian gesekan (*friction loss*) meningkat dengan bertambahnya putaran mesin dan menjadi faktor dominan pada putaran mesin yang lebih tinggi (Pulkrabel, 1997 hal. 52). Berkurangnya daya mesin pada putaran maksimum juga dipengaruhi oleh berkurangnya pasokan oksigen kedalam ruang bakar terlihat pada gambar 4.11 sehingga terjadi pembakaran miskin yang berakibat terhadap menurunnya daya mesin dan naiknya nilai kadar emisi gas buang pada carbon monoksida, terlihat pada gambar 4.10.

Selanjutnya penggunaan bahan pertamax murni pada penelitian ini, torsi dan daya yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan yang dihasilkan dari

penggunaan campuran bahan bakar pertamax+HHO. Peningkatan daya yang dihasilkan dari penambahan gas HHO sebesar 50 % pada putaran 3000 rpm. Beberapa kemungkinan penyebab torsi dan daya yang dihasilkan dari penggunaan campuran gas HHO dan pertamax lebih tinggi dibandingkan menggunakan pertamax murni sebagai bahan bakar pada penelitian ini antara lain:

#### 1. Nilai Kalor (*Heating Value*)

Nilai kalor atau *heating value* adalah jumlah kalor yang dihasilkan dari pembakaran sempurna dari sejumlah tertentu bahan bakar. Hidrogen memiliki heating value yang jauh lebih tinggi dibandingkan pertamax (sekitar 63,3% lebih tinggi). Sebagaimana terlihat pada Tabel 2.2, pertamax memiliki *heating value* 43,9 MJ/kg sedangkan hidrogen memiliki heating value 119,93 MJ/kg. Seperti terlihat pada persamaan berikut ini:

$$\tau = \frac{\eta_f \times \eta_v \times V_d \times Q_{HV} \times \rho_a \times FA}{2\pi n}$$

Dimana:

- $\tau$  = Torsi (N.m / lbf.ft)
- $\eta_f$  = *Fuel conversion efficiency*
- $\eta_v$  = Efisiensi volumetrik
- $V_d$  = Volume langkah
- $Q_{HV}$  = *Heating value* dari bahan bakar
- $\rho_a$  = *Density* udara
- FA = *Fuel air ratio*
- n = Putaran mesin

Dari persamaan di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa *heating value* bahan bakar ( $Q_{HV}$ ) berpengaruh terhadap torsi dan daya yang dihasilkan oleh mesin. Untuk mesin dengan spesifikasi yang sama, semakin tinggi *heating value* dari bahan bakar

maka torsi dan daya yang dihasilkan akan semakin tinggi demikian juga sebaliknya. HHO memiliki *heating value* yang jauh lebih besar dibandingkan pertamax. Apabila ditambahkan ke dalam pertamax, maka campuran HHO+pertamax tersebut akan memiliki *heating value* yang lebih besar dibandingkan bensin sehingga berimbas pada torsi yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan bahan bakar pertamax murni.

## 2. Efisiensi volumetrik

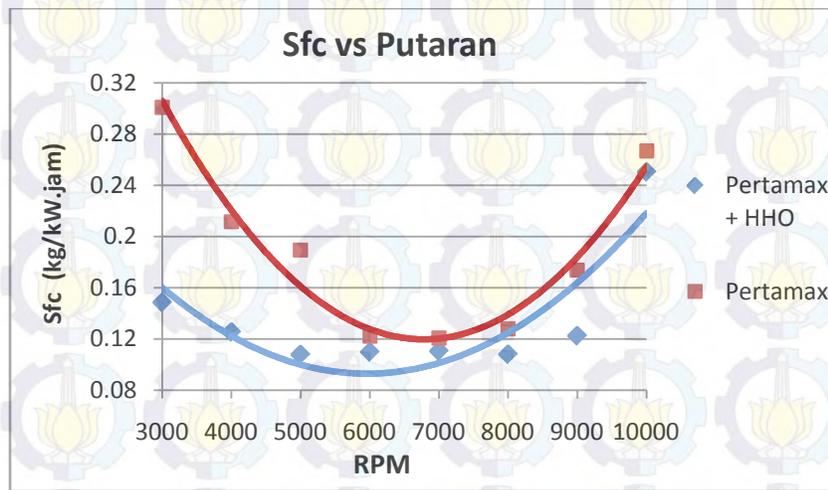
Efisiensi volumetrik (*volumetric efficiency*) dari penggunaan bahan bakar campuran pertamax-HHO kemungkinan lebih tinggi dibandingkan dengan efisiensi volumetrik ketika menggunakan pertamax murni. Salah satu penyebab efisiensi volumetrik dari penambahan bahan bakar HHO lebih tinggi dibandingkan pertamax murni adalah karena titik didih awal (*Initial boiling point*) dari HHO yang lebih tinggi dibandingkan pertamax ini disebabkan karena nilai *Initial boiling point* HHO lebih tinggi sehingga HHO lebih cepat menguap dibandingkan bensin. Bahan bakar yang sudah menguap pada temperatur rendah diperlukan untuk menghidupkan mesin pada kondisi dingin karena bahan bakar menguap sebelum terbakar. Namun apabila terlalu banyak bahan bakar yang terlalu cepat menguap maka akan menyebabkan efisiensi volumetrik mesin berkurang karena uap bahan bakar menggantikan udara terlalu dini pada sistem intake (Pulkrabek, 1997).

HHO sebagai salah satu jenis bahan bakar, memiliki *air fuel ratio (AFR)* yang lebih besar dibandingkan *AFR* yang dimiliki pertamax. HHO memiliki *AFR stoichiometry* 34,2:1 (Pulkrabek, 1997). Sedangkan pertamax memiliki *AFR stoichiometry* 14,7:1. Bahan bakar dengan *air fuel ratio (AFR)* yang lebih kecil akan mengalami kerugian yang lebih besar dalam hal efisiensi volumetrik (Pulkrabek, 1997 hal. 169).

### 4.4 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Konsumsi bahan bakar spesifik (*specific fuel consumption*) adalah ukuran pemakaian bahan bakar oleh suatu engine, yang diukur dalam satuan massa bahan

bakar per satuan waktu per satuan keluaran daya atau juga dapat didefinisikan sebagai laju aliran bahan bakar yang dipakai oleh mesin untuk menghasilkan tenaga. *Specific fuel consumption* merupakan representasi keefektifan engine dalam mengkonsumsi bahan bakar.



**Gambar 4.7** Tekanan Efektif Rata-rata Mesin Menggunakan Bahan Bakar Pertamax dengan Pertamax + gas HHO Terhadap RPM

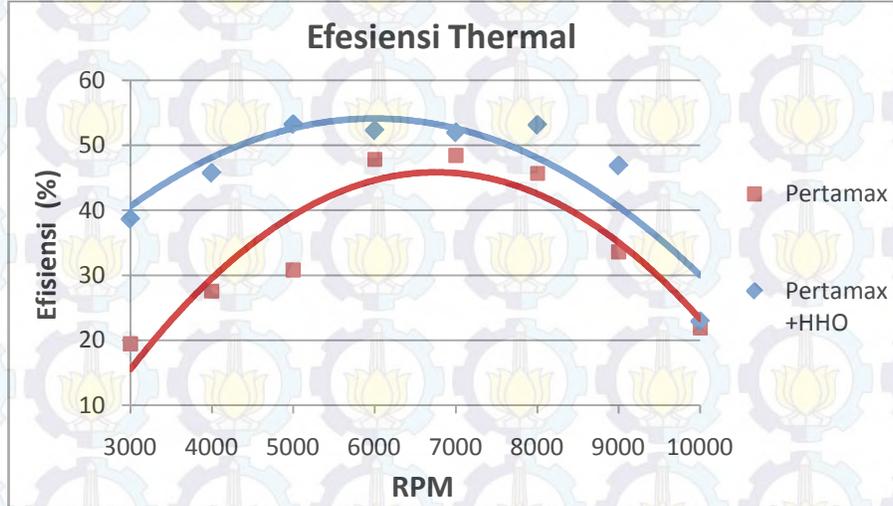
Pada grafik 4.7 diatas trendline pada grafik cenderung turun kebawah kemudian terjadi kenaikan pada putaran 7000 rpm. Penyebab fenomena tersebut adalah pada waktu putaran rendah daya yang dikeluarkan juga rendah sehingga terjadi penurunan konsumsi bahan bakar walaupun konsumsi bahan bakar yang digunakan cukup besar karena kenaikan daya tidak sebanding atau lebih besar dengan kenaikan konsumsi bahan bakar. Hal ini yang membuat konsumsi bahan bakar spesifik pada beban rendah cukup tinggi. Sehingga terlihat pada grafik 4.7 diatas setelah trendline menurun akan naik lagi ini disebabkan karena semakin tinggi kecepatan mesin maka konsumsi bahan bakar juga akan semakin meningkat sedangkan kenaikan daya tidak signifikan dan mulai kembali turun seperti pada gambar 4.6. Hal ini juga disebabkan karena pada kecepatan tinggi kerugian gesekan (*friction loss*) akan lebih besar sehingga konsumsi bahan bakar juga meningkat (Pulkrabek, 1997 hal. 57).

Besarnya nilai *sfc* pada putaran rendah juga dipengaruhi oleh pasokan udara kedalam ruang bakar, dimana pada putaran rendah pasokan udara yang masuk kedalam ruang bakar lebih sedikit terlihat pada gambar 4.11, sehingga pembakaran lebih kaya yang menyebabkan daya pada mesin berkurang. Pembakaran kaya merupakan faktor utama yang menyebabkan nilai *sfc* pada mesin meningkat.

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa dengan penambahan generator gas HHO trendline konsumsi bahan bakar spesifik menjadi lebih rendah dari pada menggunakan bahan bakar pertamax murni. Penurunan nilai *sfc* dengan pembahan gas HHO sebesar 60,63 % Ini disebabkan adanya penambahan pasokan energi baru dari HHO yang juga mempengaruhi terhadap peningkatan daya pada mesin sehingga mengurangi penggunaan pada bahan bakar pertamax murni. Namun pada kondisi titik paling rendah pada bahan bakar pertamax murni dengan dipasangi generator gas HHO cenderung berhimpitan. Dalam artian tidak ada perbedaan yang cukup signifikan terhadap konsumsi bahan bakar spesifik ini dikarenakan perbandingan daya maksimum yg dihasilkan antidak begitu besar sehingga akan berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar spesifik.

#### **4.5 Efisiensi Thermal**

Efisiensi thermal ( $\eta_{th}$ ) adalah ukuran besarnya pemanfaatan energi panas yang tersimpan dalam bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif pada motor. Efisiensi thermal mengindikasikan besarnya pengubahan energi kalor menjadi energi mekanik atau gerak.



**Gambar 4.8** Efisiensi Therma Mesin Menggunakan Bahan Bakar Pertamax dengan Pertamax + gas HHO Terhadap RPM

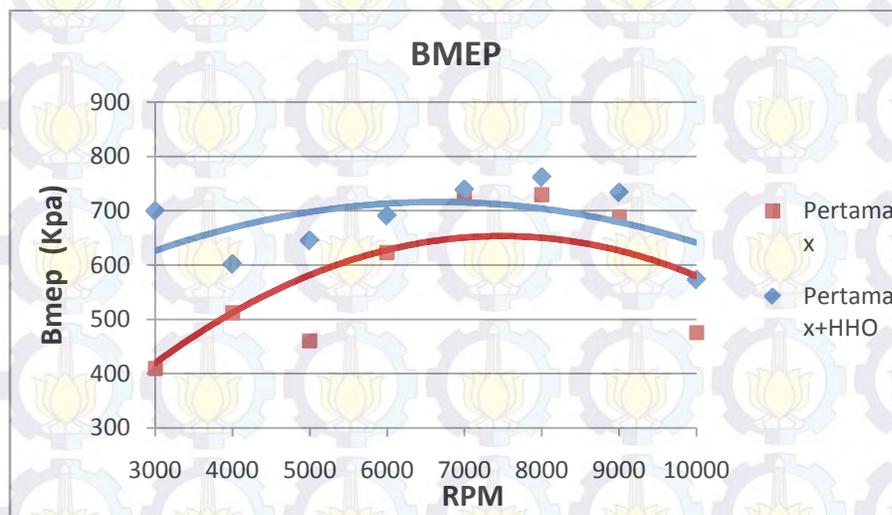
Pada grafik 4.8 diatas terlihat trendline grafik efisiensi rendah pada putaran 3000 rpm kemudian seiring meningkatnya putaran mesin maka nilai efesiensi pun meningkat. Pada suatu titik tertentu terjadi titik puncak kemudian turun nilai efesiensinya. Hal ini dikarenakan beban sudah mencapai titik optimum mesin. Setelah melampaui titik optimum besarnya komsumsi bahan bakar sudah tidak sebanding dengan besarnya daya yang dikeluarkan. Oleh sebab itu nilai efisiensi menurun.

Pada penambahan gas HHO dapat meningkatkan efisiensi thermal sebesar 49,75 % pada putaran 3000 rpm dan menurunkan *sfc*. Ini dikarenakan terjadinya konfigurasi diatomik gas HHO ( H<sub>2</sub> , O<sub>2</sub> ) menghasilkan pembakaran efisien karena atom hidrogen dan oksigen berinteraksi langsung tanpa penundaan pengapian. Panas dan tekanan gelombang HHO menghasilkan meremukkan dan fragmen tetesan pertamax, mengekspos bahan bakar untuk oksigen pada reaksi pembakaran. Ini secara efektif memperkaya rasio udara bahan bakar karena lebih banyak bahan bakar yang tersedia. Pada putaran rendah perbandingan nilai efisiensi thermal terlihat sangat signifikan karena perbandingan daya sangat besar yaitu dengan adanya penambahan gas HHO pada ruang bakar akan meningkatkan kualitas pembakaran sehingga daya

yang diberikan menjadi besar. Sehingga nilai efisiensinya pun semakin tinggi. Penambahan generator gas HHO memiliki titik puncak efisiensi yang berhimpitan.

#### 4.6 Tekanan Efektif Rata-rata

Terlihat pada gambar 4.9 bahwa grafik memiliki kecenderungan yang sama dengan grafik torsi, dimana memiliki titik puncak pada putaran 7000 rpm. Apabila putaran mesin bertambah lebih lanjut maka nilai bmep yang dihasilkan berkurang seiring dengan bertambahnya putaran mesin. *Break mean effective pressure* sebenarnya merupakan parameter yang ideal untuk membandingkan satu mesin dengan mesin yang lainnya, karena apabila torsi yang dijadikan acuan untuk perbandingan maka mesin dengan ukuran yang lebih besar akan selalu terlihat lebih baik. Sementara apabila daya yang dijadikan acuan perbandingan maka variabel kecepatan akan semakin berpengaruh (Pulkrabek, 1997)



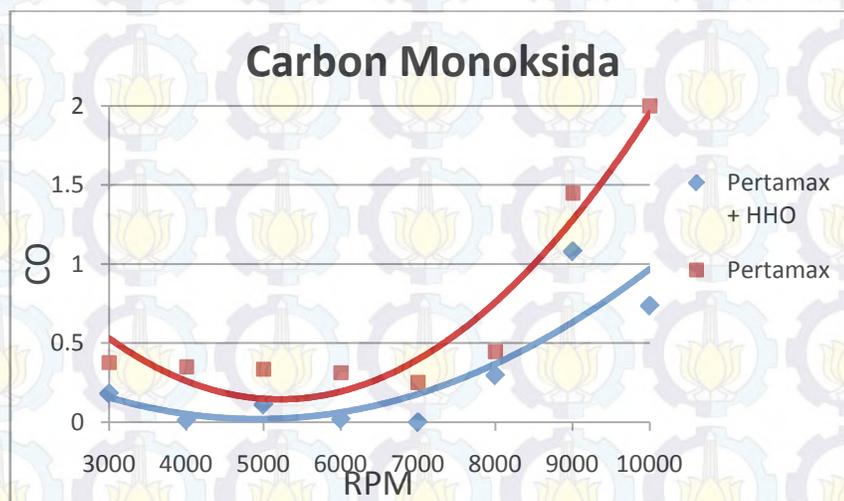
**Gambar 4.9** Tekanan Efektif Rata-rata Mesin Menggunakan Bahan Bakar Pertamax dengan Pertamax + gas HHO Terhadap RPM

Dari gambar 4.9 di atas terlihat bahwa besar bmep naik seiring dengan bertambahnya putaran mesin, hal ini disebabkan pemakaian bahan bakar kedalam ruang bakar yang semakin besar, sehingga pembakaran yang terjadi semakin besar. Namun pada putaran 7000 rpm bmep mulai turun karna lebih besarnya persentase penambahan putaran mesin dari pada daya yang dihasilkan. Nilai Bmep dengan

penambahan campuran bahan bakar gas HHO meningkat sebesar 41,46 % (putaran 3000 rpm) dibandingkan dengan pemakaian bahan bakar pertamax murni tanpa penambahan generator gas HHO. Hal ini dikarenakan Flame velocity pada *hydrogen* jauh lebih besar dari pertamax terlihat pada table 2.2, sehingga menyebabkan rambatan pembakaran pada ruang bakar menjadi cepat akibatnya tekanan pembakaran yang dihasilkan menjadi lebih optimal dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar pertamax murni. Turunnya perbandingan besar nilai antara penambahan gas HHO dengan pertamax murni di atas pada putaran tinggi disebabkan suplai gas HHO yang dihasilkan generator cenderung konstan, walaupun adanya peningkatan produksi gas HHO tidak sebanding dengan kebutuhan.

#### 4.7 Analisa gas Buang

##### 4.7.1 Analisa Gas Buang Karbon Monoksida

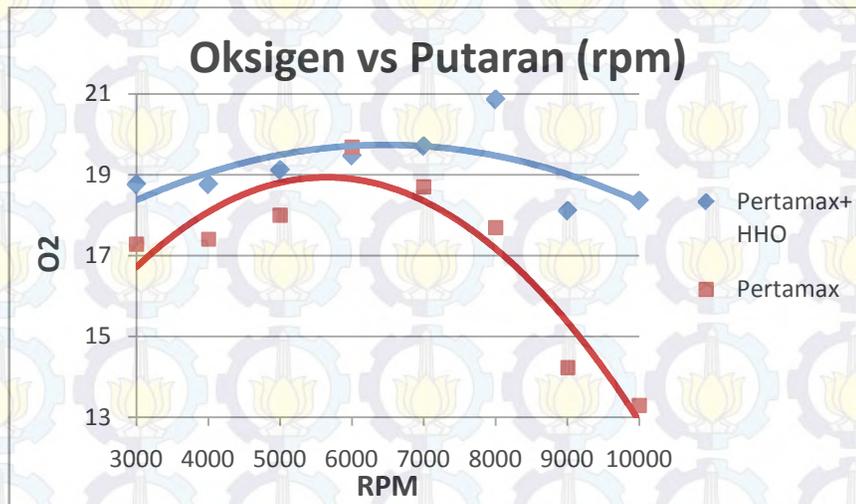


**Gambar 4.10** Grafik CO Menggunakan Bahan Bakar Pertamax dengan Pertamax + gas HHO Terhadap RPM

Dari gambar 4.10 diatas terlihat trandline pada grafik carbon monoksida bahwa pada putaran rendah (3000 rpm) kadar CO yang dihasilkan dari reaksi pembakaran terlihat tinggi dan terjadi penurunan sampai putaran 7000 rpm. Hal ini disebabkan karna pada putaran 3000 rpm bahan bakar kekurangan oksigen ( $O_2$ ) yang

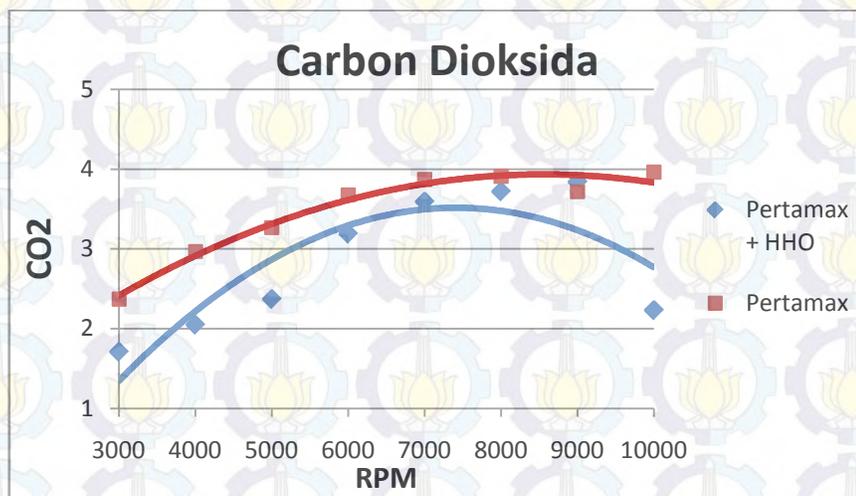
berasal dari udara berikatan melalui reaksi kimia didalam ruang bakar dan berubah menjadi karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ). Kemudian semakin tinggi putaran sampai pada 7000 rpm kadar emisi CO mengalami penurunan, hal ini disebabkan adanya peningkatan atau penambahan kadar oksigen yang berasal dari udara yang masuk kedalam ruang bakar sehingga oksigen tersebut cukup untuk memenuhi reaksi kimia dengan karbon yang berasal dari bahan bakar dan kemudian membentuk ( $\text{CO}_2$ ). Namun pada putaran 7000 rpm sampai 1000 rpm terjadi kembali peningkatan kadar CO yang sangat signifikan ini disebabkan karna pasokan udara kedalam ruang bakar kembali mengalami penurunan yang sangat signifikan. Hal ini dapat terlihat pada gambar 4.11 yaitu pada putaran 3000 rpm sampai 700 rpm terjadi peningkatan pasokan udara yang bereaksi dengan karbon namun pada putaran 7000 rpm sampai 1000 rpm, terjadi penurunan pasokan oksigen yang bereaksi dengan karbon, penurunan ini terjadi sangat signifikan.

Pada grafik gambar 4.10 menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan pasokan gas HHO kedalam ruang bakar dapat mengurangi kadar reaksi emisi karbon monoksida sebesar 51,97 % dari hasil pembakaran dalam ruang bakar, jika dibandingkan dengan hanya menggunakan bahan bakar pertamax. Hal ini disebabkan karna gas HHO yang terdiri dari hidrogen dan oksigen yang dapat meningkatkan homogenisasi dari campuran udara dan bahan bakar yang masuk kedalam ruang bakar sehingga terjadi pembakaran yang sempurna dan efisien pada mesin.



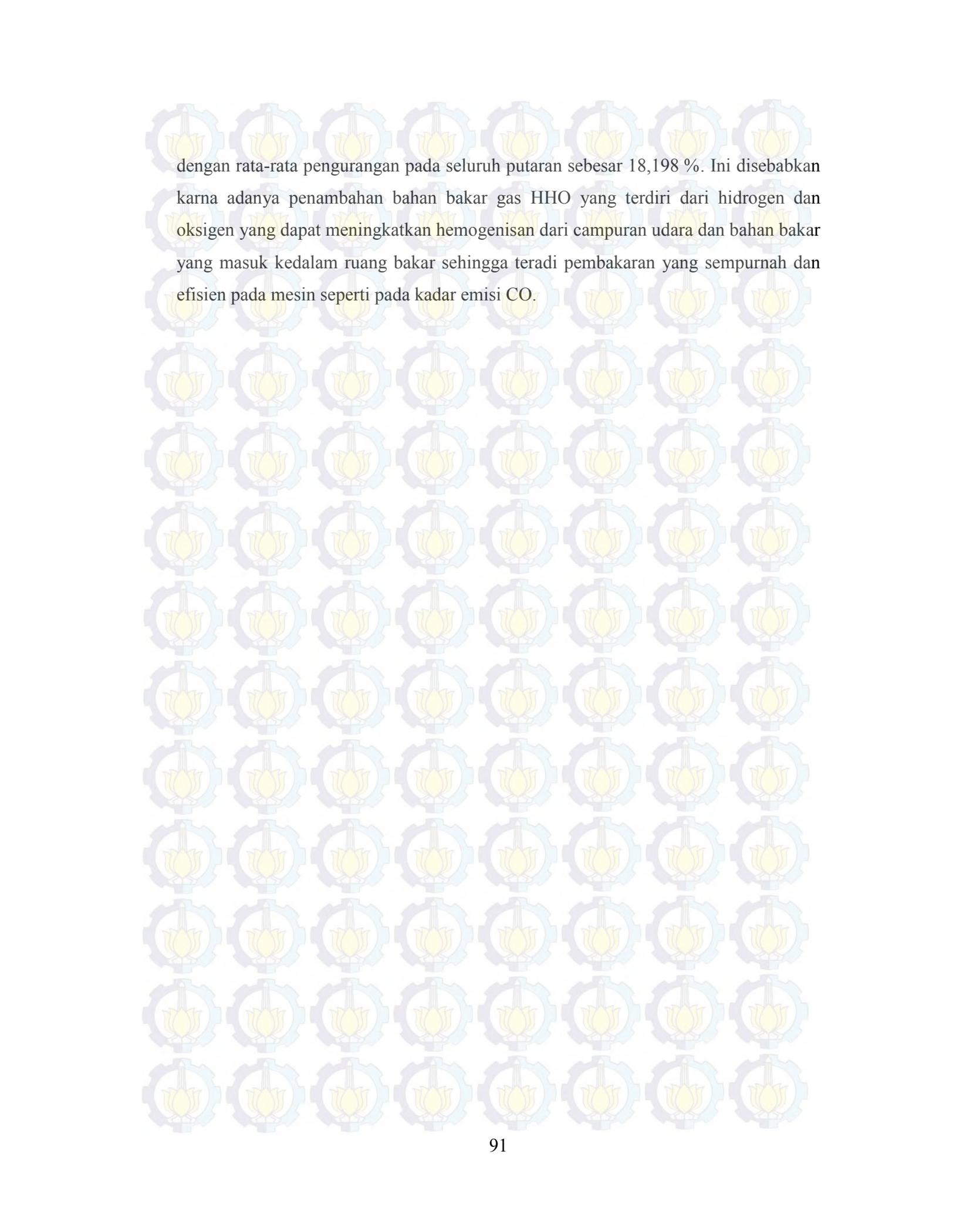
**Gambar 4.11** Grafik O<sub>2</sub> Menggunakan Bahan Bakar Pertamax dengan Pertamax + gas HHO Terhadap RPM

#### 4.7.2 Analisa Gas Buang Karbon Dioksida



**Gambar 4.12** Grafik CO<sub>2</sub> Menggunakan Bahan Bakar Pertamax dengan Pertamax + gas HHO Terhadap RPM

Pada grafik gambar 4.12 menunjukkan perbandingan kadar emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan ketika menggunakan bahan bakar pertamax dengan menggunakan bahan bakar pertamax + gas HHO terhadap putaran mesin. Kadar emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari penggunaan penambahan bahan bakar gas HHO dari putaran 3000 rpm terjadi pengurangan sebesar 27,848 % dan 43,686 % pada putaran 1000 rpm



dengan rata-rata pengurangan pada seluruh putaran sebesar 18,198 %. Ini disebabkan karna adanya penambahan bahan bakar gas HHO yang terdiri dari hidrogen dan oksigen yang dapat meningkatkan homogenitas dari campuran udara dan bahan bakar yang masuk kedalam ruang bakar sehingga terjadi pembakaran yang sempurna dan efisien pada mesin seperti pada kadar emisi CO.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari serangkaian pengujian, perhitungan dan analisis data yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pengaruh dari hasil pengujian dengan pencampuran atau penambahan bahan bakar gas HHO pada sepeda motor mega pro 150 cc terhadap performa mesin bila dibandingkan dengan bahan bakar pertamax murni, adalah sebagai berikut :

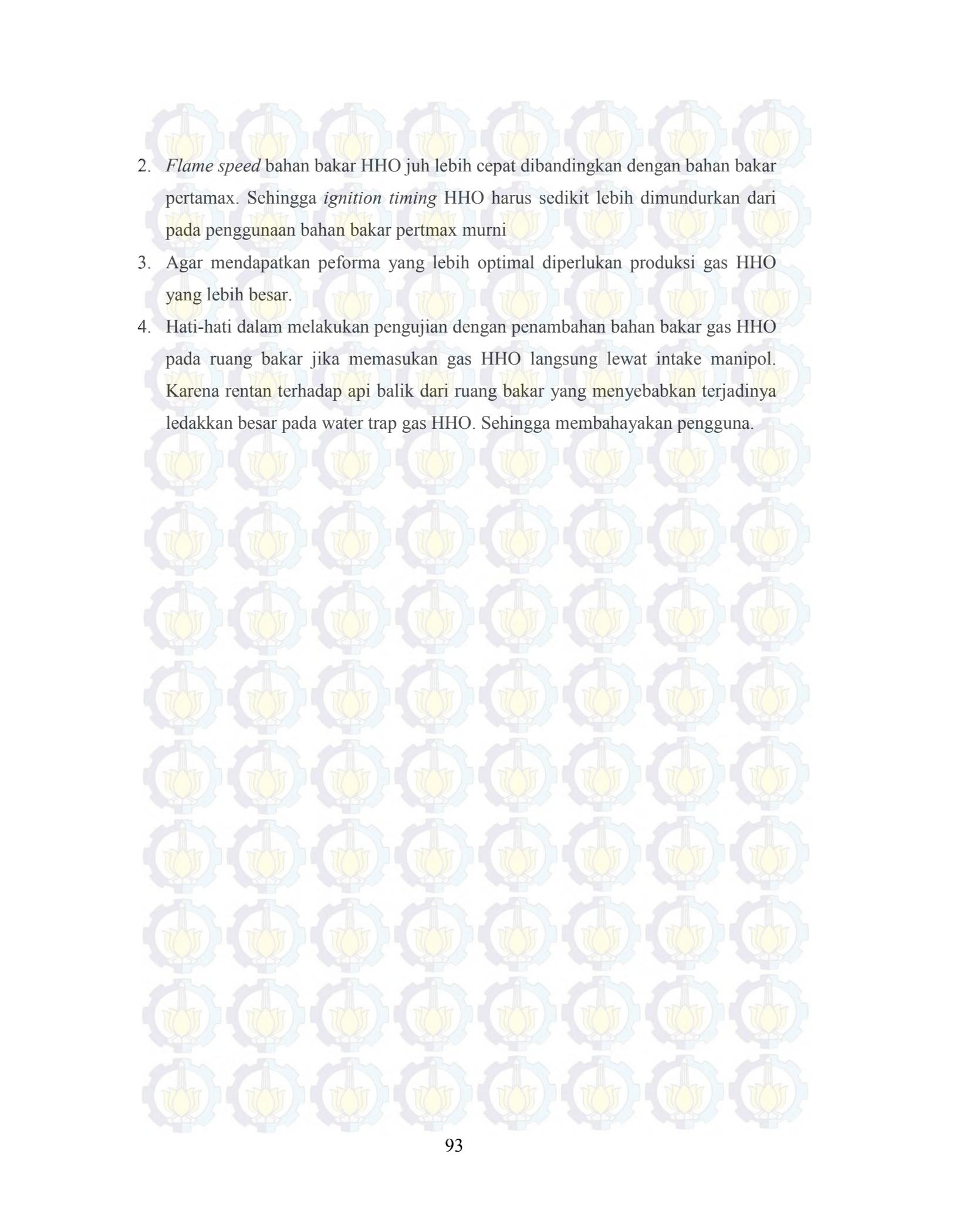
Terjadi peningkatan performa mesin dengan penggunaan penambahan bahan bakar gas HHO pada setiap putaran, peningkatan daya tertinggi sebesar 50 %, pada putaran 3000 rpm. Peningkatan torsi tertinggi sebesar 29,41 % pada putaran 10000 rpm. Peningkatan efisiensi thermal tertinggi sebesar 49,75 %, pada putaran 3000 rpm. Peningkatan BEMEP tertinggi sebesar 41,46 % pada putaran 3000 rpm. Terjadi pengurangan Sfc tertinggi sebesar 50,63 % pada putaran 3000 rpm.

2. Pengaruh penambahan bahan bakar gas HHO pada bahan bakar pertamax terhadap kadar emisi gas buang. Terjadi penurunan kadar emisi gas buang dengan penambahan bahan bakar gas HHO kedalam ruang bakar. Kadar emisi gas buang CO menurun sebesar 39,52 %, CO<sub>2</sub> sebesar 18,19 % , dan terjadi peningkatan oksigen sebesar 11,01 %.

#### 5.2 Saran

Dari serangkaian pengujian, perhitungan dan analisis data yang telah dilakukan, maka dapat diberikan beberapa saran untuk perlu dikaji sebagai berikut :

1. Bahan bakar HHO memiliki nilai oktan yang sangat tinggi sebesar 130, sehingga untuk menghasilkan performa mesin yang lebih optimal diperlukan kompresi rasio yang lebih tinggi pada mesin.

- 
2. *Flame speed* bahan bakar HHO jauh lebih cepat dibandingkan dengan bahan bakar pertamax. Sehingga *ignition timing* HHO harus sedikit lebih dimundurkan dari pada penggunaan bahan bakar pertamax murni
  3. Agar mendapatkan performa yang lebih optimal diperlukan produksi gas HHO yang lebih besar.
  4. Hati-hati dalam melakukan pengujian dengan penambahan bahan bakar gas HHO pada ruang bakar jika memasukan gas HHO langsung lewat intake manipol. Karena rentan terhadap api balik dari ruang bakar yang menyebabkan terjadinya ledakan besar pada water trap gas HHO. Sehingga membahayakan pengguna.

## DAFTAR PUSTAKA

A. Ammar dan Al-Rousan “*Reduction of fuel consumption in gasoline engines by introducing HHO gas into intake manifold*” fuel, Vol. 35, hal 12930-12935.

Arismunandar, Wiranto, (2005), *Penggerak Mula: Motor Bakar Torak*, Penerbit ITB, Bandung.

Based on JANAF Thermochemical Tables, NSRDS-NBS-37, (1971) ; *Selected Value Note 270-3*, 1968 ; and *API Research Project 44*, Carnegie Press, 1953. Heating values calculated.

Dirjend Migas, (2006), *Standard dan Mutu (spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Bensin yang Dipasarkan Dalam Negeri*, Keputusan Direktur jendral Minyak dan Gas Bumi, Jakarta.

Cobb, H.M. (1999). *Steel Product Manual: Stainless Steel*. Warrendale P.A: Iron & Steel Society.

Guntur, H.L., Rasiawan, Sampurno B, Sutantra I.N.(2011), “*Pengembangan Sistem Suplai Brown Gas Model 6 Ruang Tersusun pada Mesin Mobil 1300cc dengan Sistem Karburator*”, Jurnal Teknik Mesin, Vol.13,No.1,hal.13-17.

Gaikwad, K.S. (2004), “*Development of a Solid Electrolyte for Hydrogen Production*. Thesis. Master of Science in Electrical Engineering Department of Electrical Engineering College of Engineering University of South Florida.

Heisler, Heinz, (1995), “*Advanced Engine Tecnology*”, Edward Arnold, London. F.

Hidayatullah, P & Mustari, (2008) *Rahasia Bahan Bakar Air*. Ufuk Press.

Hydrogen Fuel Cell Engines and Related Technologies: Rev 0, December 2001

Jama, Jalius & Wagino, (2008), *Teknik Sepeda Motor*”, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Depertemen Pendidikan Nasional, Jakarta.

Kawano, Sungkono D, (2011), *Motor Bakar Torak (bensin)*, ITS Press, Surabaya.

Komisi Eropa Tim Kerja Kendaraan Berbahan Bakar Gas, (2000), *Panduan*

- Para Penentu Kebijakan Pada Kendaraan Berbahan Gas*, The European Commission Directorate-General Energy and Transport, Germani.
- Lowrie, Peter. W.E. (2005). *Electrolytic Gas*. <http://waterpoweredcar.com/pdf.files/egas-calculations.pdf>
- Musmar, Sa'ed A dan Al-Rousan, Ammar A, "Effect of HHO gas on combustion emissions in gasoline engines" fuel, Vol 90, hal 3066-3070
- Murillo, S., Miguez, J.L., Porteiro, J., Gonjalez, L.M.L., Granada, E., Moran, J.C, (2005), "LPG: Pollutant Emission and Performance Enhancement for Spark Ignition Outboard Engines" *Applied Thermal Engineering*, Vol.25, hal.1882-1893.
- Obert, Edward F, (1973), *Internal Combustion Engines and Air Pollution*, Harper & Row, Publisher, Inc, New York.
- Perpres, (2012), *Penyediaan, Pendistribusian, dan Penetapan Harga Bahan Bakar Gas Untuk Transportasi Jalan*, Jakarta.
- Pulkrabek, Willard W (1997), *Internal Combustion Engine*, Prentice Hall, New Jersey.
- Pusdatin ESDM, (2010), *Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia*, Jakarta.
- Pusdatin ESDM, (2011), *Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia*, Jakarta.
- Robert, Bosch GmbH, (2006), *Gasoline-Engine Management*, John Wiley, England.
- SAE, 2008, *Engine Power Test Code-Spark Ignition and Compression Ignition-Net Power Rating*, SAE J1349, U.S.A.
- SNI, 2005, *Emisi Gas Buang-Sumber Bergerak- Bagian 1: Cara Uji Kendaraan Bermotor kategori M,N dan O Berpenggerak Penyalaan Cetus Api Pada Kondisi Idle*, Badan Standarisasi Nasional 09-7118.1.2005, Jakarta.
- Setiyo, Muji, (2010), *Menjadi Mekanik Spesialis Kelistrikan Sepeda Motor*, Alfabeta, Bandung.
- Swisscontact, (2001), *Pengetahuan Dasar Perawatan Kendaraan Niaga (Bus)*, Clean Air Project (CAP) – Swisscontact, Jakarta.

Widyantara, Dendy, (2011), *Pengaruh Penambahan Generator HHO dengan Variasi Rangkaian Generator HHO Seri dan Paralel Terhadap Unjuk Kerja Mesin Honda Supra X 125 PGM-FI*, Tugas Akhir ITS, Surabaya

Warju, (2009), *Pengujian Performa mesin Kendaraan Bermotor*, Unesa University Press, Surabaya.

Yilmaz, Ali Can., Erinc., Uludamar., Aydin Kadir, (2010), “*Effect of hydroxy (HHO) gas addition on performance and exhaust emissions in compression ignition engines*” *hydrogen energy*, Vol. 35, hal 11366-11372.

## LAMPIRAN 1

### DATA PENELITIAN GENERATOR HHO

#### 1. 2 Cell

5 Gram KOH							7 Gram KOH						9 Gram KOH					
Volt	Amper	Daya	Waktu	Produksi HHO	ml / joule	T	Amper	Daya	Waktu	Produksi HHO	ml / joule	T	Amper	Daya	Waktu	Produksi HHO	ml / joule	T
			(S/500 ml)	ml / detik					(S/500 ml)	ml / detik					(S/500 ml)	ml / detik		
13	1.7	22.1	161	3.1055	0.140	26	2	26	165	3.03	0.11655	26	4	52	113	4.4	0.085	26
13	1.7	22.1	156	3.2051	0.145		2	26	156	3.20	0.12327		4.5	59	100	5	0.085	
13	2	26	147	3.4013	0.130		2.3	29.9	147	3.40	0.11376		5	65	98	5.1	0.078	
13	2	26	144	3.4722	0.133		2.5	32.5	133	3.76	0.11567		5	65	97	5.2	0.079	
13	2	26	141	3.5460	0.136		2.5	32.5	129	3.87	0.11926		5	65	96	5.2	0.080	
13	2	26	141	3.5460	0.136		2.5	32.5	128	3.90	0.12019		5	65	92	5.4	0.083	
13	2	26	137	3.6496	0.140		2.5	32.5	125	4	0.12308		5.5	72	88	5.7	0.079	
13	2	26	132	3.7878	0.145		3	39	119	4.20	0.10774		5.5	72	87	5.7	0.080	
13	2.5	32.5	129	3.8759	0.119		3	39	118	4.24	0.10865		5.5	72	83	6	0.084	
13	2.5	32.5	129	3.8759	0.119		3.5	45.5	116	4.31	0.09473		6	78	82	6.1	0.078	
13	2.5	32.5	129	3.8759	0.119	53	4	52	115	4.35	0.08361	51	6	78	82	6.1	0.078	54
13	2.5	32.5	120	4.1666	0.128		4	52	109	4.59	0.08821		6	78	78	6.4	0.082	
13	2.5	32.5	120	4.1666	0.128		4	52	100	5	0.09615	56	6.2	81	76	6.6	0.081	69
13	2.5	32.5	119	4.2016	0.129		<b>2.90</b>	<b>40.7</b>	<b>127.69</b>	<b>3.98</b>	<b>0.1</b>	<b>44.3</b>	<b>5.3</b>	<b>69.2</b>	<b>90.15</b>	<b>5.61</b>	<b>0.08</b>	<b>49.6</b>
13	3	39	118	4.2372	0.108													
13	3	39	119	4.2016	0.107													
13	3	39	117	4.2735	0.109	60												
	<b>2.3177</b>	<b>27.9</b>	<b>132.89</b>	<b>3.66732</b>	<b>0.132</b>	<b>39.5</b>												

2. 3 Cell

5 Gram KOH								7 Gram KOH							9 Gram KOH						
Volt	A	Daya	Waktu	Produksi HHO	ml / joule	Efisiensi	T	A	Daya	Waktu	Produksi HHO	ml / joule	Efisiensi	T	A	Daya	Waktu	Produksi HHO	ml / joule	Efisiensi	T
			(S/500 ml)	ml / detik						(S/500 ml)	ml / detik						(S/500 ml)	ml / detik			
13	4	52	103	4.854	0.093	1	26	9	117	55	9.09	0.078	0.9	26	9	117	53	9.43	0.08	0.94	26
13	4	52	103	4.854	0.093	1		9.5	124	53	9.433	0.076	0.89		11	143	49	10.2	0.07	0.83	
13	6	78	95	5.263	0.067	0.78		10	130	53	9.433	0.073	0.84		11	143	48	10.4	0.07	0.85	
13	6	78	93	5.376	0.068	0.8		10.6	138	49	10.204	0.074	0.86		12	150	46	10.9	0.07	0.85	
13	6	78	83	6.024	0.077	0.9		11	143	47	10.638	0.074	0.87		12	156	44	11.4	0.07	0.85	
13	6.2	80.6	76	6.578	0.081	0.95		11	143	47	10.638	0.074	0.87		12	156	43	11.6	0.07	0.87	
13	6.2	80.6	73	6.849	0.085	0.99		11.5	150	45	11.111	0.074	0.86		12	159	42	11.9	0.08	0.88	
13	6.5	84.5	73	6.849	0.081	0.94		11.5	150	44	11.363	0.076	0.88		13	169	41	12.2	0.07	0.84	
13	7	91	71	7.042	0.077	0.9		11.5	150	44	11.363	0.076	0.88		13	169	40	12.5	0.07	0.87	
13	7.2	93.6	64	7.812	0.083	0.97		12	156	43	11.627	0.075	0.87		13	172	39	12.8	0.07	0.87	
13	7.5	97.5	63	7.936	0.081	0.95	55	11.5	150	43	11.627	0.078	0.9	57	14	176	39	12.8	0.07	0.85	60
13	9	117	54	9.259	0.079	0.92		12.5	163	42	11.904	0.073	0.85		14	176	34	14.7	0.08	0.98	
13	10	130	50	10	0.076	0.9		13	169	40	12.5	0.074	0.86		15	195	36	13.9	0.07	0.83	
13	10	130	50	10	0.076	0.9		13.5	176	39	12.82	0.073	0.85		15	195	36	13.9	0.07	0.83	
13	10	130	50	10	0.076	0.9		13.5	176	40	12.5	0.071	0.83		15	195	37	13.5	0.07	0.81	
13	10	130	50	10	0.076	0.9		13.5	176	39	12.82	0.073	0.85		15	195	40	12.5	0.06	0.75	
13	10	130	50	10	0.076	0.9	63	13.5	176	38	13.157	0.075	0.89	71	15	195	40	12.5	0.06	0.75	75
	<b>7.38</b>	<b>85.6</b>	<b>70.65</b>	<b>6.8231</b>	<b>0.0804</b>	<b>0.941</b>	<b>48</b>	<b>11.68</b>	<b>144.6</b>	<b>44.7647</b>	<b>10.8414</b>	<b>0.075</b>	<b>0.877</b>	<b>51</b>	<b>12.9</b>	<b>160</b>	<b>41.59</b>	<b>11.9</b>	<b>0.0745</b>	<b>0.872</b>	<b>53.7</b>

3. 4 Cell

5 Gram KOH								7 Gram KOH						9 Gram KOH							
Volt	A	Daya	Waktu	Produksi HHO	ml / joule	$\eta$	T	A	Daya	Waktu	Produksi HHO	ml / joule	Efisiensi	T	A	Daya	Waktu	Produksi HHO	ml / joule	$\eta$	T
			(S/500 ml)	ml / detik						(S/500 ml)	ml / detik						(S/500 ml)	ml / detik			
13	5	65	100	5	0.076	0.899	26	9	117	64	7.812	0.066	0.780	26	12.2	158.6	42	11.90	0.07	0.87	26
13	5	65	95	5.263	0.080	0.947		9	117	63	7.936	0.067	0.793		12.5	162.5	41	12.19	0.07	0.87	
13	5.2	67.6	92	5.434	0.080	0.940		9.5	123.5	60	8.333	0.067	0.789		13	169	40	12.5	0.07	0.86	
13	5.7	74.1	88	5.681	0.076	0.896		11	143	57	8.771	0.061	0.717		13.2	171.6	39	12.82	0.07	0.87	
13	5.9	76.7	88	5.681	0.074	0.866		11.5	149.5	56	8.928	0.059	0.698		13.5	175.5	39	12.82	0.07	0.85	
13	6	78	86	5.813	0.074	0.871		11.5	149.5	55	9.090	0.060	0.711		14	182	38	13.15	0.07	0.84	
13	6	78	86	5.813	0.074	0.871		12	156	54	9.259	0.059	0.694		14	182	38	13.15	0.07	0.84	
13	6	78	79	6.329	0.081	0.949		12	156	53	9.433	0.060	0.707		14	182	37	13.51	0.07	0.86	
13	6.8	88.4	78	6.410	0.072	0.848		12	156	52	9.615	0.061	0.720		14	182	39	12.82	0.07	0.82	
13	7	91	73	6.849	0.075	0.880		12.2	158.6	52	9.615	0.060	0.709		14.2	184.6	38	13.15	0.07	0.83	
13	7.3	94.9	74	6.756	0.071	0.832		12.5	162.5	51	9.803	0.060	0.705		14.2	184.6	40	12.5	0.06	0.79	
13	9.2	119.6	55	9.090	0.076	0.888		14.5	188.5	45	11.111	0.058	0.689		16.5	214.5	38	13.15	0.06	0.71	
13	9.5	123.5	51	9.803	0.079	0.928	57	15	195	44	11.363	0.058	0.681	59	16.5	214.5	35	14.28	0.06	0.77	60
13	11	143	49	10.204	0.071	0.834		15	195	43	11.627	0.059	0.697		16	208	35	14.28	0.06	0.80	
13	11.5	149.5	48	10.416	0.069	0.814		15.5	201.5	43	11.627	0.057	0.674		17	221	36	13.88	0.06	0.73	
13	11.5	149.5	48	10.416	0.069	0.814		15.5	201.5	43	11.627	0.057	0.674		17	221	36	13.88	0.06	0.73	
13	11.5	149.5	48	10.416	0.069	0.814	65	15.5	201.5	43	11.627	0.057	0.674	73	17	221	36	13.88	0.06	0.73	78
	<b>7.65</b>	<b>84.6</b>	<b>72.8</b>	<b>6.456</b>	<b>0.076</b>	<b>0.893</b>	<b>49,33</b>	<b>12.54</b>	<b>151.7</b>	<b>51.64</b>	<b>9.313</b>	<b>0.061</b>	<b>0.722</b>	<b>52,7</b>	<b>14.63</b>	<b>181.8</b>	<b>38.05</b>	<b>12.92</b>	<b>0.07</b>	<b>0.83</b>	<b>54,7</b>

4. 5 Cell

5 Gram KOH								7 Gram KOH							9 Gram KOH						
Volt	A	Daya	Waktu	Produksi	ml / joule	$\eta$	T	A	Daya	Waktu	Produksi	ml / joule	$\eta$	T	A	Daya	Waktu	Produksi	ml / joule	$\eta$	T
			(S/500 ml)	HHO ml / detik						(S/500 ml)	HHO ml / detik						(S/500 ml)	HHO ml / detik			
13	8	104	100	5	0.04	0.562	26	10	130	54	9.259	0.071	0.833	26	12.5	162.5	54	9.259	0.056	0.666	26
13	8.5	110.5	95	5.263	0.04	0.557		10.5	136.5	51	9.803	0.071	0.840		13	169	52	9.615	0.056	0.665	
13	8.9	115.7	92	5.434	0.04	0.549		11	143	52	9.615	0.067	0.786		13	169	52	9.615	0.056	0.665	
13	9	117	88	5.682	0.04	0.567		11	143	49	10.204	0.071	0.834		13.5	175.5	52	9.615	0.054	0.640	
13	9	117	88	5.682	0.04	0.567		11	143	48	10.416	0.072	0.851		13.5	175.5	51	9.803	0.055	0.653	
13	9.5	123.5	86	5.814	0.04	0.550		11	143	49	10.204	0.071	0.834		14	182	50	10	0.054	0.642	
13	9.5	123.5	86	5.814	0.04	0.550		11	143	47	10.638	0.074	0.870		14.5	188.5	49	10.204	0.054	0.633	
13	9.9	128.7	79	6.329	0.04	0.575		11	143	47	10.638	0.074	0.870		14.5	188.5	49	10.204	0.054	0.633	
13	10	130	78	6.410	0.04	0.576		11.5	149.5	46	10.869	0.072	0.850		14.5	188.5	48	10.416	0.055	0.646	
13	10.2	132.6	73	6.849	0.05	0.604		11.5	149.5	47	10.638	0.071	0.832		15	195	47	10.638	0.054	0.638	
13	10.5	136.5	74	6.757	0.04	0.578		12	156	45	11.111	0.071	0.833		15	195	46	10.869	0.055	0.651	
13	11.5	149.5	46	10.869	0.07	0.850		14	182	42	11.904	0.065	0.765		17	221	40	12.5	0.056	0.661	
13	12	156	45	11.111	0.07	0.833	57	14.5	188.5	40	12.5	0.066	0.775	57	17.5	227.5	39	12.820	0.056	0.659	62
13	12	156	43	11.628	0.07	0.871		14.5	188.5	39	12.820	0.068	0.795		18	234	38	13.157	0.056	0.657	
13	13	169	42	11.905	0.07	0.823		15	195	40	12.5	0.064	0.749		17.5	227.5	40	12.5	0.054	0.642	
13	13	169	42	11.905	0.07	0.823		15	195	39	12.820	0.065	0.769		17.5	227.5	40	12.5	0.054	0.642	
13	13	169	42	11.905	0.07	0.823	66	15	195	38	13.157	0.067	0.789	75	18.5	240.5	37	13.513	0.056	0.657	75
	<b>10.44</b>	<b>126.5</b>	<b>70.52</b>	<b>6.693</b>	<b>0.05</b>	<b>0.609</b>	<b>49,7</b>	<b>12.32</b>	<b>150</b>	<b>45.4</b>	<b>10.60</b>	<b>0.070</b>	<b>0.828</b>	<b>52,7</b>	<b>15.23</b>	<b>187.5</b>	<b>46.11</b>	<b>10.427</b>	<b>0.055</b>	<b>0.650</b>	<b>54,3</b>

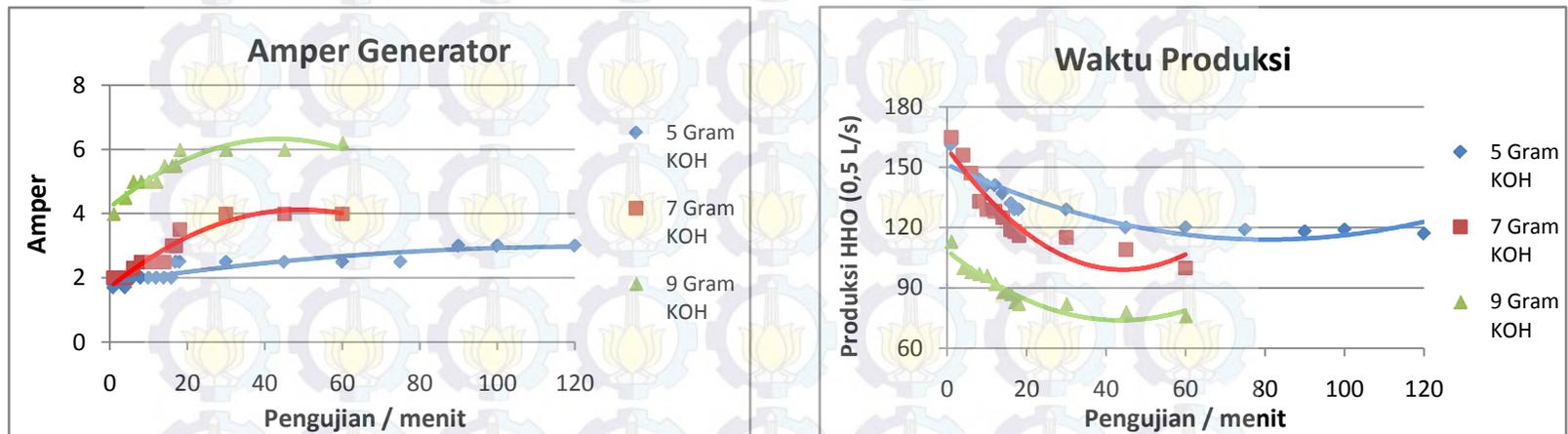
5. 6 Cell

5 Gram KOH								7 Gram KOH							9 Gram KOH						
Volt	A	Daya	Waktu	Produksi	ml / joule	$\eta$	T	A	Daya	Waktu	Produksi	ml / joule	$\eta$	T	A	Daya	Waktu	Produksi	ml / joule	$\eta$	T
			(S/500 ml)	HHO ml / detik						(S/500 ml)	HHO ml / detik						(S/500 ml)	HHO ml / detik			
13	13	169	35	14.285	0.084	0.988	26	17	221	28	17.857	0.081	0.945	27	17.5	227.5	28	17.857	0.078	0.918	26
13	13.7	178.1	33	15.151	0.085	0.995		17.5	227.5	27	18.518	0.081	0.952		18	234	28	17.857	0.076	0.892	
13	14	182	33	15.151	0.083	0.973		17.5	227.5	27	18.518	0.081	0.952		19	247	27	18.518	0.074	0.876	
13	14	182	33	15.151	0.083	0.974		18	234	27	18.518	0.079	0.925		19.5	253.5	26	19.230	0.075	0.887	
13	14	182	33	15.151	0.083	0.974		18	234	27	18.518	0.079	0.925		19.5	253.5	26	19.230	0.075	0.887	
13	14.5	188.5	32	15.625	0.083	0.969		18	234	26	19.231	0.082	0.961		20	260	25	20	0.076	0.899	
13	14.9	193.7	31	16.129	0.083	0.974		18.5	240.5	27	18.518	0.077	0.900		21	273	24	20.833	0.076	0.892	
13	14.9	193.7	31	16.129	0.083	0.974		18.5	240.5	26	19.231	0.079	0.935		21	273	23	21.739	0.079	0.931	
13	15	195	30	16.667	0.085	0.999		18.5	240.5	26	19.231	0.079	0.935		21	273	24	20.833	0.076	0.892	
13	15	195	30	16.667	0.085	0.999		19	247	25	20	0.081	0.947		21	273	24	20.833	0.076	0.892	
13	15	195	30	16.667	0.085	0.999		19	247	25	20	0.081	0.947		21.5	279.5	23	21.739	0.077	0.909	
13	17.5	227.5	28	17.857	0.078	0.918	61	21	273	24	20.833	0.076	0.892	62	26	338	20	25	0.073	0.865	63
13	18	234	28	17.857	0.076	0.892		21	273	23	21.739	0.079	0.931		26	338	20	25	0.073	0.865	
13	18	234	26	19.231	0.082	0.961		21.5	279.5	23	21.739	0.077	0.909		26	338	20	25	0.073	0.865	
13	18	234	26	19.231	0.082	0.961		21	273	24	20.833	0.076	0.892		26	338	20	25	0.073	0.865	
13	18	234	26	19.231	0.082	0.961		21	273	24	20.833	0.076	0.892		26	338	20	25	0.073	0.865	
13	18	234	26	19.231	0.082	0.961	75	21	273	24	20.833	0.076	0.892	78	27	351	20	25	0.071	0.833	79
	<b>15.61</b>	<b>193.5</b>	<b>30.05</b>	<b>16.038</b>	<b>0.083</b>	<b>0.971</b>	<b>54</b>	<b>19.17</b>	<b>241.5</b>	<b>25.47</b>	<b>19.285</b>	<b>0.079</b>	<b>0.934</b>	<b>55,7</b>	<b>22.11</b>	<b>271</b>	<b>23.41</b>	<b>20.667</b>	<b>0.076</b>	<b>0.893</b>	<b>56</b>

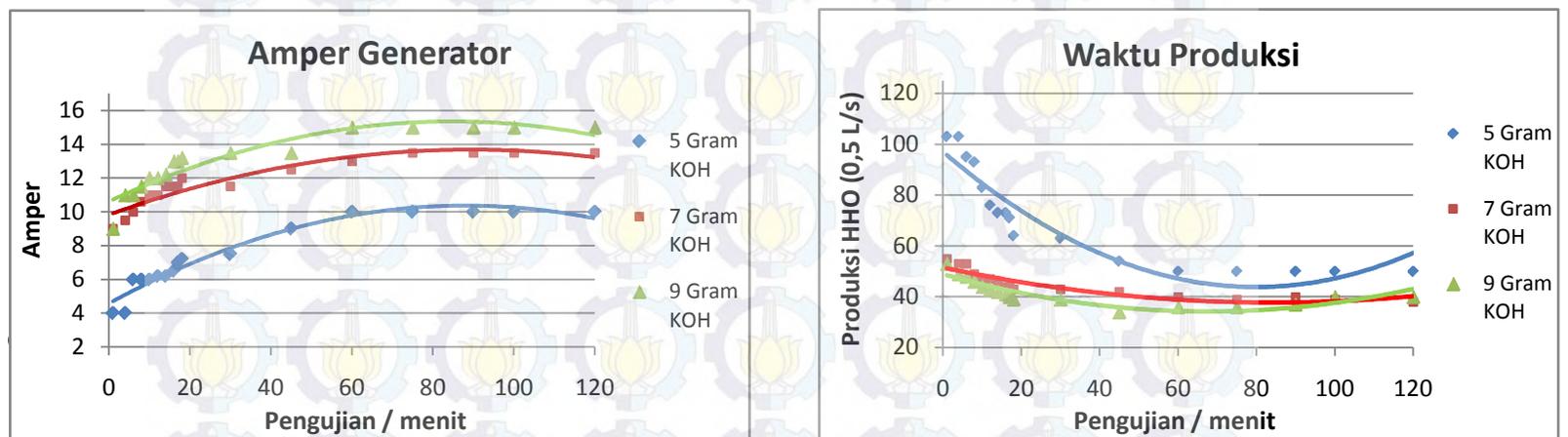
## LAMPIRAN 2

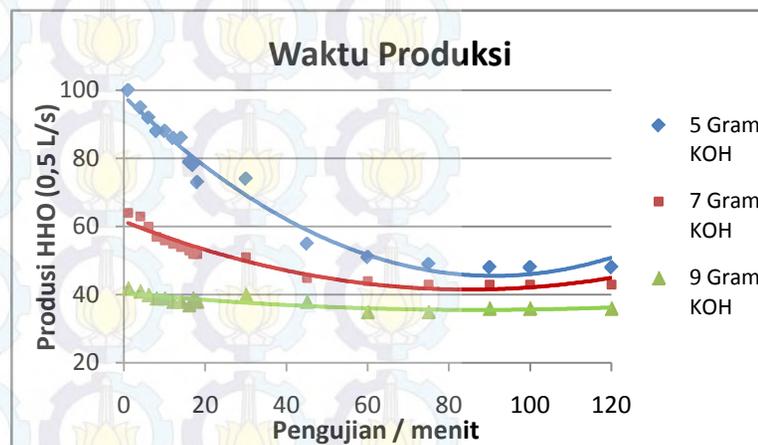
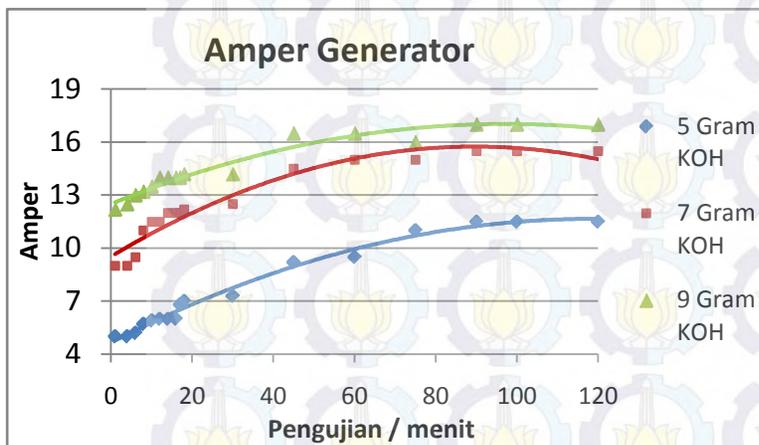
### GRAFIK PERFORMA GENERATOR HHO

1. Grafik 2 Cell 4 Netral

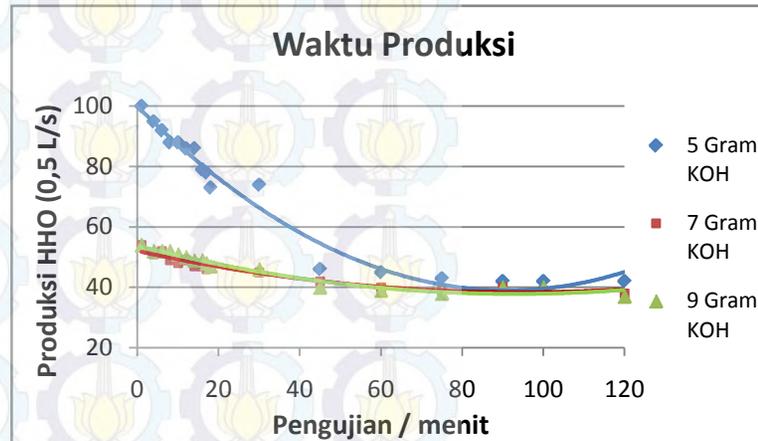
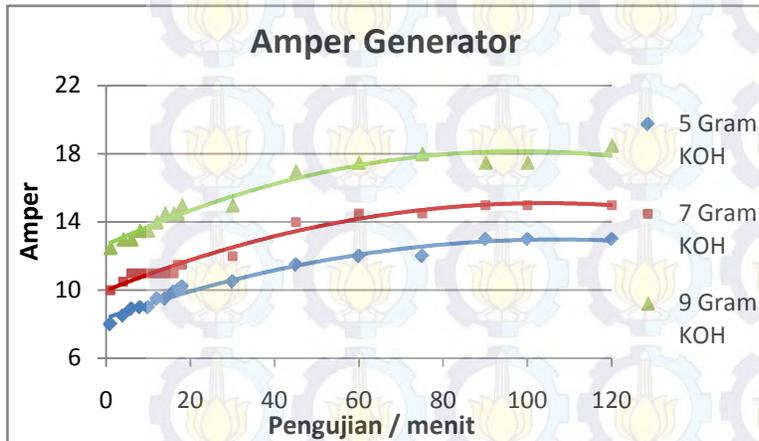


2. Grafik 3 Cell 4 Netral

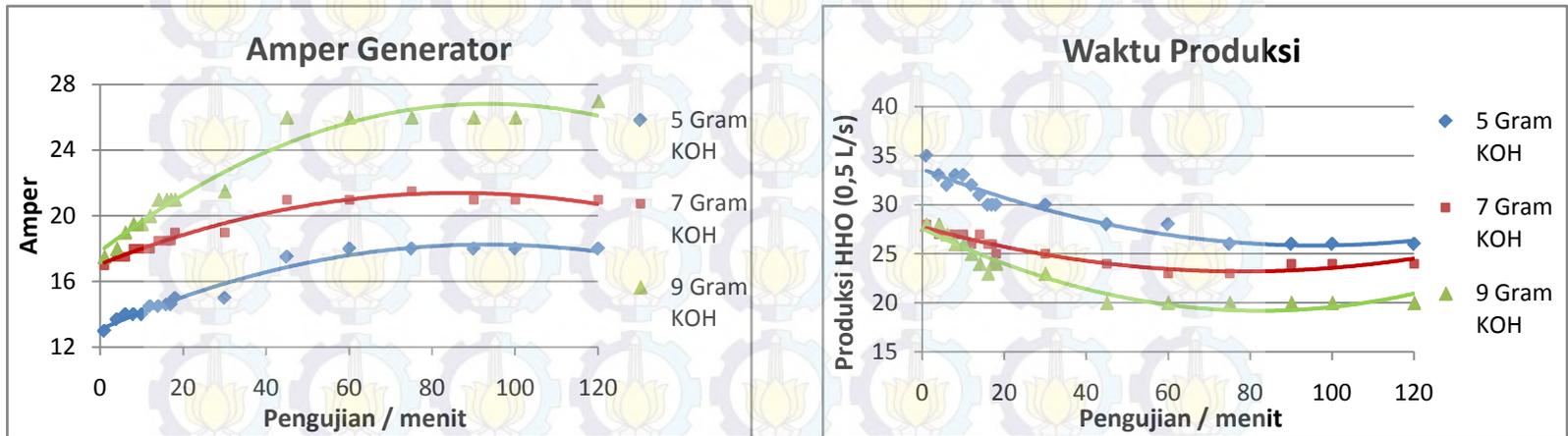




#### 4. Grafik 5 Cell 4 Netral



### 5. Grafik 6 Cell 4 Netral



### LAMPIRAN 3

## DATA HASIL PERHITUNGAN APLIKASI GAS HHO

### 1. TORSI

RPM	Torsi	
	Pertamax	Pertamax + HHO
3000	6	8.5
4000	7	8.7
5000	7.7	9.43
6000	9.44	10.1
7000	10.28	10.35
8000	10.06	10.05
9000	9.1	9.86
10000	5.3	8.1

### 2. DAYA

RPM	Daya	
	Pertamax	Pertamax + HHO
3000	2	4
4000	3	4.7
5000	3.5	6.4
6000	8	8.1
7000	10.2	10.2
8000	11.4	11.9
9000	12.1	12.9
10000	9.3	11.2

### 3. SFC

RPM	SFC	
	Pertamax	Pertamax + HHO
3000	0.300723922	0.148457
4000	0.211722004	0.1254424
5000	0.189614686	0.1077704
6000	0.122055198	0.1097704
7000	0.120653049	0.1104323

8000	0.127825055	0.1079725
9000	0.173900395	0.1224209
10000	0.266649574	0.2503807

#### 4. BMEP

RPM	BMEP	
	Pertamax	Pertamax + HHO
3000	409.6697158	699.8524312
4000	512.0871448	601.7023951
5000	460.8784303	645.2298025
6000	623.0393595	691.3176455
7000	724.2375334	738.8685947
8000	729.7241814	761.7296279
9000	688.4727169	733.9915742
10000	476.2410447	573.5376022

#### 5. EFISIENSI THERMAL

RPM	Efisiensi Thermal	
	Pertamax	Pertamax + HHO
3000	19.43514729	38.67766732
4000	27.60513123	45.77374606
5000	30.82363418	53.27965859
6000	47.88500456	52.30891628
7000	48.44149202	51.99536494
8000	45.72353762	53.17989225
9000	33.60897322	46.90348107
10000	21.91870634	22.93295558

## 6. CARBON MONOKSIDA

RPM	Carbon Monoksida	
	Pertamax	Pertamax + HHO
3000	0.379	0.182
4000	0.35	0.013
5000	0.337	0.11
6000	0.315	0.019
7000	0.252	0.001
8000	0.447	0.297
9000	1.449	1.08
10000	2	0.737

## 7. CARBON DIOKSIDA

RPM	Carbon Dioksida	
	Pertamax	Pertamax + HHO
3000	2.37	1.71
4000	2.97	2.05
5000	3.27	2.37
6000	3.68	3.19
7000	3.87	3.59
8000	3.91	3.72
9000	3.72	3.84
10000	3.96	2.23

## 8. OKSIGEN

RPM	Carbon Monoksida	
	Pertamax	Pertamax + HHO
3000	17.28	18.76
4000	17.41	18.76
5000	18	19.12
6000	19.68	19.47
7000	18.7	19.71
8000	17.69	20.86
9000	14.23	18.11
10000	13.29	18.36



**Nofriyandi. R.**, lahir di kinali, 07 N ovember 1986. Memulai pendidikan di SDN 003 S eberang Pantai, melanjutkan ke SLTPN 1 P asar Lubuk Jambi dan menamatkan sekolah SMKN 1 Teluk Kuantan pada tahun 2005 jurusan Teknik Mesin. Pada tahun 2008, telah menamatkan pendidikan D3 jurusan Teknik Mesin Maitenance Politeknik Universitas Andalas.

Pada tahun 2011, m enamatkan pendidikan program transfer S-1 jurusan Pendidikan Teknik Otomotif Fakultas Teknik - Universitas Negeri Padang (UNP). Pada tahun 2014, m enamatkan pendidikan Program Pascasarjana Prodi S-2 Teknik Mesin FTI-ITS dengan bidang keahlian Rekayasa Konversi Energi.

Saat menjadi mahasiswa, aktif di beberapa organisasi kampus seperti : *Anggota Forum Studi Islam Politeknik (FORSIPOL) tahun 2005, Wakil ketua Dewan Legislatif Mahasiswa (DLM) periode 2006-2007, Koordinator LITBANG Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) tahun 2007-2008, Tim KRI UKM-Robotik.* Pernah mengikuti kegiatan *Kontes Robot Indonesia (KRI) di graha kampus ITS tahun 2007.* Pernah melakukan penelitian tentang : *Analisa Biaya Perawatan Pada Mesin Mangel PT. Lembah Karet Padang (2008), Karakteristik Skripsi Mahasiswa Dua Tahun Terakhir Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif Universitas Negeri Padang (2011), selanjutnya aktif melakukan penelitian di laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar Teknik Mesin ITS tahun 2013-2014.*

Pada tahun 2011, pe rnah menerapkan ilmu pengetahuan pada bidang Teknik Otomotif dengan mengajar di SMK Adzkia Padang. Untuk memudahkan kritik dan saran yang membangun dapat mengirim ke alamat email [nofri.yandi05@gmail.com](mailto:nofri.yandi05@gmail.com).