



**TUGAS AKHIR TM 141585**

**RANCANG BANGUN DAN UJI PERFORMA  
GENERATOR HHO GANDA TIPE KERING (*DRY  
TYPE*) DENGAN PENAMBAHAN SIKLUS *ON-OFF*  
OTOMATIS UNTUK MENINGKATKAN LAMA  
WAKTU PENGOPERASIAN**

**AMIRUDIN  
NRP 2113106004**

**DOSEN PEMBIMBING  
Dr.Ir. Atok Setiyawan M.Eng.Sc**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016**



**FINAL PROJECT TM 141585**

**DESIGN AND PERFORMANCE TEST OF DRY  
TYPE DOUBLE HHO GENERATOR WITH  
AUTOMATIC *ON-OFF* CYCLES TO INCREASE  
TIME OF OPERATION**

**AMIRUDIN  
NRP 2113106004**

**Advisor:  
Dr.Ir. Atok Setiyawan M.Eng.Sc**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2016**

## LEMBAR PENGESAHAN

### RANCANG BANGUN DAN UJI PERFORMA GENERATOR HHO GANDA TIPE KERING (*DRY TYPE*) DENGAN PENAMBAHAN SIKLUS *ON-OFF* OTOMATIS UNTUK MENINGKATKAN LAMA WAKTU PENGOPERASIAN

#### TUGAS AKHIR

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

Oleh:

AMIRUDIN

NRP. 2113106004

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng.Sc. ..... (Pembimbing)  
NIP. 196604021989031002
2. Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT ..... (Penguji I)  
NIP. 197301161997021001
3. Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT, Yt. ..... (Penguji II)  
NIP. 197104051997021001
4. Ary Bachtiar K. P., ST, M.P., PhD ..... (Penguji III)  
NIP. 197105241997021001

SURABAYA

Mei 2016

**RANCANG BANGUN DAN UJI PERFORMA  
GENERATOR HHO GANDA TIPE KERING (DRY TYPE)  
DENGAN PENAMBAHAN SIKLUS ON-OFF OTOMATIS  
UNTUK MENINGKATKAN LAMA WAKTU  
PENGOPERASIAN**

**Nama** : Amirudin  
**NRP** : 2113106004  
**Dosen Pembimbing** : Dr.Ir. Atok Setiyawan M.Eng.Sc

**ABSTRAK**

*Bahan bakar fosil saat ini merupakan energi yang paling banyak digunakan, namun disisi lain jumlahnya semakin hari semakin menurun. Oleh karena itu, menjadi penting untuk terus dilakukan penelitian terkait pengembangan energi alternatif. Mengingat jumlah air yang sangat melimpah maka dalam penelitian ini akan coba dikaji dan dikembangkan tentang generator HHO. Generator HHO merupakan peralatan penghasil gas hidrogen-oksigen dari proses elektrolisis air (H<sub>2</sub>O). Penambahan gas hidrogen-oksigen (HHO) telah terbukti memberikan pengaruh positif terhadap proses pembakaran dan konsentrasi gas buang hasil pembakaran. Kekurangan dari elektrolisis generator HHO ini adalah pengoperasian generator HHO yang masih sangat terbatas karena temperatur elektrolit terus meningkat. Temperatur elektrolit dibatasi pada 75 °C.*

*Tujuan utama dari penelitian ini adalah bagaimana agar generator HHO bisa dioperasikan lebih lama, untuk mendukung kerja mesin diesel yang beroperasi diatas 10 jam. Metode yang digunakan adalah generator HHO ganda dengan kombinasi sistem PWM (Pulse Width Modulation) dan siklus ON-OFF otomatis. Dua generator HHO akan bekerja secara independent, dimana ketika HHO cell satu bekerja maka HHO cell yang lain pada posisi OFF. Saat HHO cell berada pada posisi OFF maka akan terjadi proses pendinginan elektrolit melalui plat-plat*

*stainless steel ke udara bebas. Sehingga laju kenaikan temperatur menurun dan lama waktu operasi generator HHO semakin meningkat. Generator HHO yang digunakan adalah tipe kering dengan elektroda plat stainless steel dengan dimensi 130x110 mm. Duty cycle PWM yang digunakan sebesar 55% dengan frekuensi 26.4 Hz. Elektrolit yang digunakan adalah campuran aquades (H<sub>2</sub>O) dengan Kalium Hidroksida (KOH) dengan konsentrasi 10-12 gram/Liter.*

*Dari hasil pengujian didapatkan bahwa penambahan siklus ON-OFF dari double HHO, dapat meningkatkan lama waktu pengoperasian bila dibandingkan dengan single HHO. Lama waktu pengoperasian single HHO mencapai temperatur maksimum yang dibatasi sebesar 75 °C yaitu hanya 2 jam lebih 5 menit. Double HHO dengan siklus ON-OFF setiap 5, 15 dan 20 menit pada pengoperasian jam ke 10 temperatur berturut-turut baru mencapai 75 °C, 68.8 °C dan 68.2 °C. Double HHO dengan siklus ON-OFF setiap 5, 15 dan 20 menit rata-rata harga penurunan temperatur (saat siklus OFF) adalah sebesar 51.86%, 73.85% dan 76.15% terhadap harga kenaikan temperatur (saat siklus ON). Dari semua variasi pengujian, rata-rata produksi gas HHO mempunyai harga yang hampir sama yaitu berkisar 0.22-0.23 Liter/menit.*

***Kata kunci: Generator HHO ganda, PWM, Siklus ON-OFF***

# DESIGN AND PERFORMANCE TEST OF DRY TYPE DOUBLE HHO GENERATOR WITH AUTOMATIC ON- OFF CYCLES TO INCREASE TIME OF OPERATION

**Nama** : Amirudin  
**NRP** : 2113106004  
**Dosen Pembimbing** : Dr.Ir. Atok Setiyawan M.Eng.Sc

## ABSTRACT

*The fossil fuel energy is currently most commonly used, on the other hand the number was declining day by day. Therefore, it becomes importance to continue to do research related to alternative energy. Given the amount of water that is very abundant so in this research will try to reviewed and developed about HHO generator. HHO generator is an equipment to produce hydrogen-oxygen gaseous from electrolysis of water (H<sub>2</sub>O). The addition of hydrogen-oxygen (HHO) gas has proved a positive influence on the combustion process and the concentration of exhaust gas of combustion. The weakness of the electrolysis HHO is the operating time of HHO generator is still very limited due to the temperature of electrolyte increase continuously. The electrolyte temperature is limited below 75 °C.*

*The main purpose of this research is how HHO generator can be worked for a long time to support Otto/Diesel engine operates more than 10 hours. Research Method used are using double HHO generators by a combination system PWM (Pulse Width Modulation) and automatic ON-OFF cycle. Two HHO generators will work independently, where when one HHO cell operates the other HHO cell is stand. When the HHO Cell at position OFF there will be the process of cooling electrolytes through stainless steel plates into the air. So the rate of increasing temperatures of electrolyte will decline and then operating times of HHO Generator will increase significantly. HHO Generator used for research is dry type with stainless steel*

*plate electrode with dimension 130x110 mm. Duty cycle of PWM was selected—at 55% and the frequency of 26.4 Hz. Electrolyte used is a mixture aquades (H<sub>2</sub>O) with Kalium Hydroxide (KOH) with a concentration of 10-12 gram/ liter..*

*From the test result showed that the addition of ON-OFF cycle of double HHO generators, the operation time can increase compare to single HHO. Operation time of single HHO just reached 2 hours 5 minutes when maximum temperature of electrolyte is limited to 75 °C. Double HHO with ON-OFF cycle every 5, 15 and 20 minutes, after operation as long as 10 hours, temperature of electrolyte reached 75 °C, 68.8 °C and 68.2 °C, respectively. Double HHO generator operated at ON-OFF cycle every 5, 15 and 20 minutes the average value of decline in cooling temperature (at OFF cycle) is 51.86%, 73.85% and 76.15%, respectively compare to temperature increase at ON cycle. For all various experiment, the average production of gas HHO almost the same value in the range of 0.22-0.23 Liters/minutes.*

***Key word: Double HHO Generator, PWM, ON-OFF cycle***

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR SIMBOL .....	xv

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air .....	5
2.2 <i>Brown Gas</i> (gas HHO) .....	5
2.3 Elektrolisis Air Untuk Mendapatkan Gas HHO .....	6
2.4 Karakteristik Gas HHO .....	8
2.5 Generator HHO .....	9
2.5.1 Prinsip Kerja Generator HHO .....	9
2.5.2 Klasifikasi Generator HHO .....	9
2.5.2.1 Generator HHO tipe <i>Wet Cell</i> .....	10
2.5.2.2 Generator HHO tipe <i>Dry Cell</i> .....	10
2.5.3 Komponen Generator HHO .....	11
2.5.4 Pemilihan Elektroda Generator HHO .....	13
2.5.5 Larutan Elektrolit Generator HHO .....	14
2.6 Sistem Elektrik .....	15
2.6.1 PWM ( <i>Pulse Width Modulation</i> ) .....	15
2.6.2 Sistem <i>ON-OFF</i> Generator HHO .....	17



2.6.3	Perbedaan Mekanisme Kerja <i>Single</i> dan <i>Double HHO</i> .....	18
2.6.4	Komponen Kontrol Elektrik .....	20
2.7	Parameter Performa Generator HHO .....	23
2.7.1	Daya Generator HHO .....	23
2.7.2	Laju Produksi ( <i>flowrate</i> ) Gas HHO .....	23
2.7.3	Efisiensi Generator HHO .....	25
2.7.4	Laju Kenaikan Temperatur Elektrolit .....	28
2.7.4.1	Ilustrasi Aliran Arus Listrik dalam <i>HHO Cell</i> .....	28
2.7.4.2	Properties Material .....	29
2.7.4.3	Persamaan Total <i>Heat Transfer</i> .....	29
2.7.4.1	Kenaikan Temperatur pada <i>Single</i> dan <i>Double HHO</i> .....	30
2.8	Penelitian Terdahulu .....	31
2.8.1	Penelitian Saudara Yahya A. Kurniawan .....	32
2.8.2	Penelitian Saudara Wardiyanto .....	33
2.8.3	Penelitian Saudara Fungky Dyan Pertiwi .....	35

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1	Sistematika Penelitian .....	37
3.1.1	<i>Design</i> Generator HHO Ganda .....	37
3.1.2	<i>Flowchart</i> Penelitian .....	38
3.1.3	Parameter Pokok Studi Literatur .....	40
3.1.4	<i>Design</i> Komponen Generator HHO .....	41
3.1.5	Batasan Temperatur Maksimal Elektrolit Generator HHO .....	43
3.1.6	Pemilihan Lama Waktu Siklus <i>ON-OFF</i> Generator HHO .....	43
3.2	Peralatan Penelitian .....	43
3.3	Pengujian Sistem Elektrik .....	45
3.3.1	Pengujian Rangkaian PWM ( <i>Pulse Width Modulation</i> ) .....	45
3.3.1.1	Skema Pengujian .....	45

3.3.1.2	Peralatan Pengujian .....	46
3.3.1.3	Tahapan Pengujian .....	46
3.3.2	Pengujian Rangkaian <i>Timer ON-OFF</i>	
	Generator HHO .....	47
3.3.2.1	Skema Pengujian .....	47
3.3.2.2	Peralatan Pengujian .....	48
3.3.2.3	Tahapan Pengujian .....	48
3.4	Pengujian Unjuk Kerja Generator HHO .....	49
3.4.1	Pengujian Unjuk Kerja <i>Single HHO</i> dengan PWM .....	49
3.4.1.1	Skema Pengujian .....	49
3.4.1.2	Tahapan Pengujian .....	50
3.4.2	Pengujian Unjuk Kerja <i>Double HHO</i> dengan Kombinasi PWM dan Siklus <i>ON-OFF</i> Otomatis .....	51
3.4.2.1	Skema Pengujian .....	51
3.4.2.2	Tahapan Pengujian .....	52

## **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

4.1	Perhitungan .....	53
4.1.1	Daya yang Dibutuhkan Generator HHO .....	53
4.1.2	Laju Produksi Gas HHO .....	53
4.1.3	Efisiensi Generator HHO .....	54
4.1.4	Laju Kenaikan Temperatur Generator HHO ...	55
4.1.4.1	<i>Energy Generation (Ėg)</i> .....	56
4.1.4.2	Energi Keluar ( <i>Ėout</i> ) .....	56
4.1.4.3	<i>Energy Storage (Ėst)</i> .....	58
4.1.4.4	Laju Kenaikan Temperatur .....	58
4.1.4.5	Kenaikan Temperatur Elektrolit <i>Single dan Double HHO</i> .....	59
4.2	Pengujian Sistem Kontrol Elektrik .....	59
4.2.1	<i>Duty Cycle PWM</i> .....	60
4.2.2	Frekuensi Listrik .....	61
4.2.3	Konsumsi Daya Sistem Kontrol Elektrik .....	62

4.3	Analisa Data Generator HHO .....	63
4.3.1	Grafik Temperatur vs Waktu .....	63
4.3.2	Grafik Arus vs Waktu .....	67
4.3.3	Grafik Daya vs Waktu .....	69
4.3.4	Grafik Laju Produksi Gas HHO vs Waktu .....	71
4.3.5	Grafik Efisiensi vs Waktu .....	72
4.4	Perbandingan Efektifitas Kerja <i>Single</i> dan <i>Double</i> Generator HHO .....	74
4.4.1	Laju Temperatur Elektrolit .....	74
4.4.2	Daya Listrik .....	75
4.4.3	Produksi Gas HHO .....	76
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>		
5.1	Kesimpulan .....	77
5.2	Saran .....	78

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema Pemecahan Molekul Air .....	5
Gambar 2.2	Skema Elektrolisis Air .....	6
Gambar 2.3	Generator HHO Tipe Basah .....	10
Gambar 2.4	Generator HHO Tipe Kering .....	10
Gambar 2.5	Rangkaian Elektronik PWM .....	15
Gambar 2.6	Duty Cycle PWM ( <i>Pulse Width Modulation</i> ) ..	16
Gambar 2.7	Rangkaian Elektronik <i>Timer ON-OFF</i> .....	17
Gambar 2.8	Ilustrasi Suplai Arus Listrik pada <i>Single</i> dan <i>Double HHO</i> .....	19
Gambar 2.9	Ilustrasi Aliran Arus Listrik dalam <i>HHO Cell</i> ..	28
Gambar 2.10	Grafik Studi Eksperimen Generator Tipe <i>Dry Cell</i> berdimensi 90 x 90 mm dengan penambahan PWM E-1 .....	33
Gambar 2.11	Grafik Pengaruh Penggunaan PWM E-2 VF Terhadap Performa Generator HHO Tipe <i>Dry Cell</i> Berdimensi 70 x 70 mm .....	34
Gambar 2.12	Grafik Pengaruh Frekuensi Terhadap Performa Generator HHO .....	36
Gambar 3.1	<i>Design</i> Generator HHO Ganda .....	37
Gambar 3.2	<i>Flowchart</i> sistematika Penelitian .....	38
Gambar 3.3	<i>Flowchart</i> sistematika Penelitian ( <i>lanjutan</i> ) ....	39
Gambar 3.4	Dimensi <i>HHO cell</i> .....	41
Gambar 3.5	Dimensi <i>Reservoir H2O</i> .....	42
Gambar 3.6	<i>Fitting</i> dan Selang Saluran Elektrolit dan Gas	42
Gambar 3.7	Skema Pengujian Rangkaian PWM .....	45
Gambar 3.8	Skema Pengujian Rangkaian <i>Timer ON-OFF</i> ..	47
Gambar 3.9	Skema pengujian <i>single HHO</i> dengan PWM	50
Gambar 3.10	Skema pengujian <i>double HHO</i> dengan PWM Siklus <i>ON-OFF</i> Otomatis .....	51
Gambar 4.1	Karakteristik Perpindahan Panas <i>HHO Cell</i> .....	55
Gambar 4.2	<i>Duty cycle PWM 55%</i> .....	60

Gambar 4.3	Frekuensi Listrik pada <i>duty cycle PWM</i> 55% ...	61
Gambar 4.4	Konsumsi Arus Listrik pada Sistem Kontrol Elektrik .....	62
Gambar 4.5	Grafik Temperatur fungsi Waktu .....	64
Gambar 4.6	Grafik Detail Temperatur vs Waktu .....	66
Gambar 4.7	Grafik Arus fungsi Waktu .....	67
Gambar 4.8	Grafik Daya fungsi Waktu .....	69
Gambar 4.9	Grafik Laju Produksi Gas HHO fungsi Waktu	71
Gambar 4.10	Grafik Efisiensi fungsi Waktu .....	72

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Properti Gas Hidrogen .....	8
Tabel 2.2	Spesifikasi <i>Stainless Steel</i> .....	13

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR SIMBOL

$A_{tot}$	: Luasan total elektroda, $m^2$
$A_e$	: Luasan elektrolisis, $m^2$
$A_c$	: Luasan pendinginan, $m^2$
$c$	: Kalor jenis, $J/kg.K$
$C$	: Capacitor, <i>Farad</i>
$^{\circ}C$	: Derajat celcius
$\dot{E}_g$	: Energy generation, <i>Watt</i>
$\dot{E}_{out}$	: Energy out, <i>Watt</i>
$\dot{E}_{st}$	: Energy storage, <i>Watt</i>
$\epsilon$	: Emissivity, <i>0.8</i>
$F$	: Farad, satuan kapasitansi
$F$	: Bilangan Faraday, <i>Coloumb</i>
$h$	: Koefisien konveksi, $W/m^2.K$
$I$	: Arus listrik, <i>Ampere</i>
$k$	: Konduktifitas panas, $W/m.K$
$L$	: Panjang laluan, $m$
$\dot{m}_{HHO}$	: Laju aliran massa gas HHO, $kg/s$
$m_{H_2}$	: Massa hidrogen
$M_r$	: Berat molekul
$n$	: Molariras senyawa, $mol$
$n$	: rata-rata penurunan temperatur ( $\Delta T_{ON} : \Delta T_{OFF}$ ), %
$n_{H_2}$	: Mol hidrogen
$n_{H_2O}$	: Mol water
$\dot{n}$	: Molaritas senyawa waktu, $mol/s$
$P$	: Daya, <i>Watt</i>
$P$	: Tekanan gas ideal, $atm, Pa$
$Q$	: Debit produksi gas HHO, $m^3/s$
$Q_{conv}$	: Convection heat transfer rate, <i>Watt</i>
$Q_{cond}$	: Conduction heat transfer rate, <i>Watt</i>
$Q_{rqd}$	: Radiation heat transfer rate, <i>Watt</i>
$R$	: Resistor, <i>Ohm</i>
$R_{tot}$	: Resistansi total material, <i>Ohm/meter</i>



$R_s$	: Resistansi <i>stainless steel</i> , <i>Ohm</i>
$R_e$	: Resistansi elektrolit, <i>Ohm</i>
$\bar{R}$	: Konstanta gas ideal, <i>L.atm/mol.K</i>
$t$	: Time, <i>sekon</i>
$T$	: Temperatur, <i>K</i>
$T_{eq}$	: Temperatur rata-rata sistem, <i>K</i>
$T_c$	: Temperatur surface, <i>K</i>
$T_{inv}$	: Temperatur <i>ambient</i> , <i>K</i>
$V$	: Voltase, <i>Volt</i>
$V$	: Volume, <i>m<sup>3</sup></i>
$\dot{V}$	: Volume gas per detik, <i>L/s</i>
$W$	: Watt, satuan daya listrik
$Z$	: Konstanta ( $z=2$ untuk <i>H2</i> , $z=4$ untuk <i>O2</i> )
$\rho$	: Massa jenis, <i>kg/m<sup>3</sup></i>
$\rho_{HHO}$	: Massa jenis gas HHO, <i>kg/m<sup>3</sup></i>
$\eta$	: Efisiensi, <i>%</i>
$\sigma$	: Konstanta Boltzmann, <i>W/m<sup>2</sup>. K<sup>4</sup></i>
$\Delta h_f$	: Perubahan entalpi, <i>kJ/mol</i>
$\frac{dT}{dt}$	: Temperatur fungsi wakt, <i>°C/s</i>
$\Delta T_s(t)$	: Temperatur elektrolit <i>single HHO</i> fungsi waktu, <i>°C</i>
$\Delta T_d(t)$	: Temperatur elektrolit <i>double HHO</i> fungsi waktu, <i>°C</i>

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Semakin banyak jumlah penduduk maka akan semakin banyak pula energi yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan hidup. Penggunaan energi bahan bakar fosil saat ini adalah yang paling banyak digunakan, namun disisi lain cadangan bahan bakar fosil jumlahnya semakin hari semakin menurun karena merupakan bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui. Yang menjadi masalah lagi adalah ketika jumlahnya yang semakin menurun tetapi kebutuhan bahan bakar tersebut semakin hari semakin meningkat. Berdasarkan data dari lembaga “*finace detik.com*”, kebutuhan bahan bakar, khususnya bahan bakar minyak (BBM) saat ini mencapai 1,5 juta *barrel* perhari, sementara produksi hanya mencapai 800 ribu *barrel* perhari. Diprediksikan cadangan bahan bakar minyak dunia akan habis dalam kurun waktu tidak lebih dari 53 tahun lagi.

Dalam kondisi Negara Indonesia saat ini, yang masih dalam proses pembangunan dibutuhkan banyak sekali energi untuk menjalankan teknologi-teknologi demi memperlancar proses pembangunan. Maka kita sebagai warga negara dituntut untuk mau dan mampu mendukung program-program yang berhubungan dengan efisiensi bahan bakar maupun pengembangan bahan bakar alternatif yang terbarukan. Penelitian, ide dan inovasi perlu terus kita kembangkan demi tercapainya bahan bakar alternatif yang terbarukan, efisien, aplikatif dan ramah lingkungan. Dalam hal ini lembaga-lembaga pendidikan dan riset mempunyai peran yang besar untuk mewujudkan tercapainya hal tersebut.

Dalam hal ini penulis ingin mempelajari dan mengembangkan bahan bakar alternatif dari proses elektrolisis air dengan menggunakan generator HHO. Dimana akan dihasilkan gas HHO atau yang sering disebut sebagai “*Brown Gas*”. Gas tersebut merupakan campuran antara gas hidrogen dan

oksigen yang merupakan unsur pokok dalam proses pembakaran. Diperoleh melalui proses elektrolisis air murni ( $H_2O$ ) dengan cara mengalirkan arus listrik melewati media air tersebut dengan perantara elektroda (katoda dan anoda). Reaksi kimia akan terjadi jika arus listrik dialirkan melalui larutan elektrolit, yakni dengan mengubah energi listrik menjadi energi kimia yang disebut sebagai “reaksi redoks”. Banyak penelitian yang sudah dilakukan tentang elektrolisis air ini dan masih terus dilakukan sampai sekarang. Dari banyak penelitian yang ada dapat ditarik beberapa kesimpulan yang terkait dengan pokok permasalahan yang akan coba penulis teliti diantaranya: konsumsi arus listrik dan temperatur elektrolit yang semakin meningkat seiring bertambahnya waktu operasi. Laju kenaikan temperatur yang masih tinggi akan mengurangi lama waktu pengoperasian generator HHO karena terbatas pada temperatur maksimal sebelum terjadi penguapan. Dari situ penulis akan mencoba membangun sebuah sistem operasi generator HHO ganda dengan kombinasi sistem PWM (*Pulse Width Modulation*) dan variasi siklus *ON-OFF* otomatis, untuk mengurangi laju kenaikan temperatur sehingga diharapkan lama waktu operasi generator HHO akan semakin meningkat.

## 1.2 Perumusan Masalah

Sebagai gambaran bahwa Generator HHO mempunyai karakteristik konsumsi arus listrik, temperatur dan produksi gas HHO mengalami kenaikan seiring lama waktu operasi, sehingga waktu pengoperasian masih terbatas karena adanya faktor temperatur maksimum. Dari situ maka rumusan masalah dalam penelitian ini, diantaranya:

1. Bagaimana cara meningkatkan lama waktu operasi Generator HHO ?
2. Bagaimana cara membuat sistem kontrol Generator HHO tipe ganda ?
3. Bagaimana karakteristik kerja dari Generator HHO ganda yang sudah di *design* ?

### 1.3 Batasan Masalah

Untuk menganalisa permasalahan diatas, terdapat beberapa batasan masalah yang diambil dalam penelitian ini, diantaranya adalah:

1. Sumber listrik diambil dari listrik AC 220-230 V, 50-60 Hz.
2. Variasi waktu siklus *ON-OFF* Generator HHO yang digunakan yaitu 5 menit, 15 menit dan 20 menit.
3. *Duty cycle* PWM bisa divariasikan sesuai kebutuhan output gas dan lama waktu pengoperasian Generator HHO, namun dalam penelitian ini harga *duty cycle* PWM ditetapkan sebesar 50-60 % dan frekuensi listrik sebesar 25-30 Hz.
4. Elektrolit yang digunakan adalah campuran *Aquades* ( $H_2O$ ) dan Kalium Hidroksida ( $KOH$ ) dengan konsentrasi 10 -12 gram/Liter.
5. Elektroda yang digunakan adalah *Stainless Steel AISI 304*.
6. Tidak membahas rangkaian *Switching Regulator* (*power supply*).
7. Arus listrik maksimal generator HHO adalah sebesar 30 Ampere.
8. Temperatur elektrolit maksimal dibatasi pada 75 °C.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah tercakup seperti diatas, maka tujuan dilakukan penelitian ini diantaranya:

1. Mendapatkan cara untuk meningkatkan lama waktu operasi Generator HHO.
2. Dapat membuat sistem kontrol Generator HHO tipe ganda.
3. Didapatkan bagaimana karakteristik kerja dari Generator HHO ganda yang sudah di *design*.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun beberapa manfaat dari dilakukannya penelitian ini, diantaranya:

1. Lama waktu operasi generator HHO yang semakin meningkat maka Generator HHO akan semakin aplikatif untuk mendukung mesin-mesin pembakaran dalam.
2. Sistem kontrol generator HHO yang bisa diseting variabel, maka akan semakin meningkatkan efektifitas kerja dari generator HHO dan peralatan yang didukung dengan generator HHO tersebut.
3. Hasil penelitian bisa terus dilanjutkan dan disempurnakan agar tercapai performa tinggi dan bisa diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari sebagai solusi akan adanya krisis energi dimasa yang akan datang.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- BAB I PENDAHULUAN, Pada bagian ini berisi tentang latar belakang pemilihan judul, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.
- BAB II TINJAUAN PUSTAKA, Pada bagian ini berisi informasi dasar mengenai dasar teori yang menunjang dalam proses penelitian dan penulisan laporan.
- BAB III METODE PENELITIAN, Pada bagian ini berisi tentang sistematika penelitian, *design* peralatan, peralatan pengujian dan tata cara pengujian.
- BAB IV PERHITUNGAN DAN ANALISA DATA, Pada bagian ini berisi tentang perhitungan dan analisa hasil penelitian.
- BAB V PENUTUP, Berisi tentang kesimpulan hasil penelitian dan saran untuk perbaikan penelitian berikutnya.

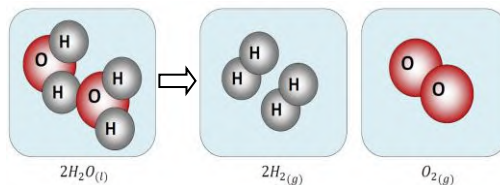
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Air

Air merupakan substansi kimia dengan rumus kimia  $H_2O$ , satu molekul air tersusun atas dua atom hidrogen yang terikat secara kovalen dengan satu atom oksigen. Air sering disebut sebagai pelarut universal karena memiliki kemampuan untuk melarutkan banyak zat kimia lainnya. Air juga merupakan elektrolit lemah yang dapat terionisasi menjadi ion-ion  $H^+$  dan  $OH^-$ . Tarikan atom oksigen pada elektron-elektron ikatan lebih kuat dari pada yang dilakukan oleh atom hidrogen, meninggalkan jumlah muatan *positif* pada kedua atom hidrogen dan jumlah muatan negatif pada atom oksigen (Isana S.Y.L, 2010).

### 2.2 Brown Gas (Gas HHO)

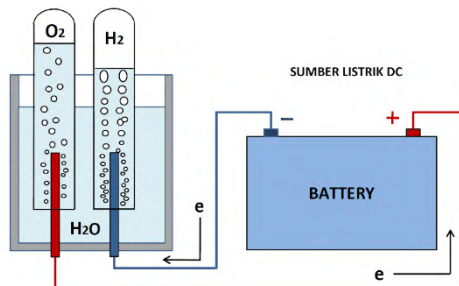
Gas HHO merupakan gas hasil dari proses pemecahan molekul air murni ( $H_2O$ ) dengan proses elektrolisis. Gas yang dihasilkan dari proses elektrolisis air tersebut adalah gas Hidrogen dan Oksigen, dengan komposisi 2 Hidrogen dan 1 Oksigen (Peter E.W Lowrie, 2005). Pada tahun 1974 Ilmuwan asal Bulgaria, yakni “Yull Brown” menemukan metode yang tepat dalam elektrolisis air untuk menghasilkan gas HHO dan kemudian dipatenkan sehingga gas ini sering disebut dengan istilah “*Brown gas*”. *Brown gas* tersusun dari gas hidrogen dan oksigen yang merupakan unsur pokok dalam pembakaran, sehingga banyak penelitian terkait elektrolisis *brown gas* ini dan aplikasinya pada mesin-mesin pembakaran.



**Gambar 2.1** Skema Pemecahan Molekul Air

### 2.3 Elektrolisis Air Untuk Menghasilkan Gas HHO

Elektrolisis adalah suatu proses untuk memisahkan senyawa kimia menjadi unsur-unsurnya atau memproduksi suatu molekul baru dengan sumber arus listrik (*Anne Marie Helmenstine, 2001*). Secara teori elektrolisis air adalah peristiwa penguraian senyawa air ( $H_2O$ ) menjadi gas Hidrogen ( $H_2$ ) dan Oksigen ( $O_2$ ) dengan mengalirkan arus listrik melalui air tersebut dengan perantara elektroda (katoda dan anoda). Reaksi kimia akan terjadi jika arus listrik dialirkan melalui larutan elektrolit, yakni dengan mengubah energi listrik menjadi energi kimia yang disebut sebagai “reaksi redoks”. Adapun beberapa syarat terjadinya reaksi redoks diantaranya: adanya larutan elektrolit yang mengandung ion-ion bebas yang dapat memberikan atau menerima elektron, ada sumber arus listrik dari luar dan ada perantara elektroda penghantar (katoda dan anoda). ([http://en.wikipedia.org/wiki/Electrolysis\\_of\\_water](http://en.wikipedia.org/wiki/Electrolysis_of_water)).

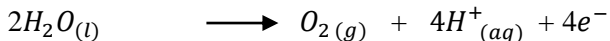


**Gambar 2.2** Skema Elektrolisis Air

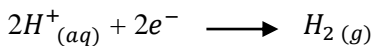
Elektroda yang menerima elektron dari sumber arus listrik disebut katoda sedangkan elektroda yang mengalirkan elektron kembali ke sumber arus listrik disebut anoda. Pada katoda dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron, tereduksi menjadi gas Hidrogen ( $H_2$ ) dan ion hidroksida ( $OH^-$ ). Sementara itu pada anoda, dua molekul air lain terurai menjadi gas Oksigen ( $O_2$ ) dan empat ion  $H^+$ . Ion  $H^+$  dan  $OH^-$  mengalami netralisasi sehingga terbentuk kembali beberapa

molekul air. Apabila elektrolit yang digunakan dari jenis garam seperti NaCl, KCl dan NaCO<sub>3</sub>, maka akan terjadi reaksi asam. Secara lengkap reaksi-reaksi tersebut dapat dituliskan sebagai berikut (Yanuar A.G, 2013):

Reaksi di Anoda (oksidasi) :



Reaksi di Katoda (reduksi):

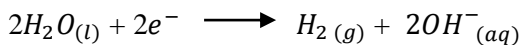


Reaksi Sel (keseluruhan):

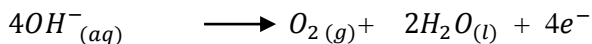


Apabila elektrolit yang digunakan adalah larutan basa seperti KOH dan NaOH (basa dari golongan periode 1A, alkali tanah) maka akan terjadi reaksi basa. Pada reaksi basa, reaksi reduksi terjadi di katoda dimana molekul air mengikat elektron ( $e^-$ ) sehingga terpecah menjadi gas Hidrogen ( $H_{2(g)}$ ) dan anion  $OH^-$ . Anion  $OH^-$  tersebut kemudian tertarik kesisi anoda dan terpecah menjadi gas Oksigen dan molekul  $H_2O_{(l)}$ , sebagaimana dapat dilihat pada persamaan reaksi kimia sebagai berikut (Yanuar A.G, 2013):

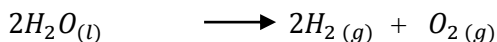
Reaksi di Katoda (reduksi):



Reaksi di Anoda (oksidasi) :



Reaksi Sel (keseluruhan):



Dari kedua reaksi, asam ataupun basa dapat dilihat bahwa pada kedua reaksi tersebut produk yang dihasilkan dari



elektrolisis 2 mol  $H_2O$  memiliki komposisi yang sama yaitu 2 mol gas Hidrogen dan 1 mol gas Oksigen. Pada jenis kedua reaksi diatas, gas hidrogen sama-sama dihasilkan pada elektroda negatif (katoda) dan gas oksigen pada elektroda positif (anoda).

## 2.4 Karakteristik Gas HHO

Properties gas HHO yang terdiri dari atom-atom hidrogen mempunyai properties seperti pada tabel:

**Tabel 2.1** Properti Gas Hidrogen

Reference temperature	68 °F/528 °R	293 K
Standard pressure (1 atm) psia	14.69 psia	101.325 kPa (abs)
Density (at 528 °R and 1 atm)	0.00523 lb/ft <sup>3</sup>	83.7 g/m <sup>3</sup>
Specific volume (at 528 °R and 1 atm)	191.4 ft <sup>3</sup> /lb	0.0119 m <sup>3</sup> /g
Specific heat	C <sub>p</sub> = 3.425 Btu/lb-R C <sub>v</sub> = 2.419 Btu/lb-R	C <sub>p</sub> = 14.33 J/g-k C <sub>v</sub> = 10.12 J/g-k
Velocity of sound	4246 ft/sec Low = 51596 Btu/lb High = 61031 Btu/lb	1294 m/sec Low = 119.93 kJ/g High = 141.86 kJ/g
Heat of combustion		
Flammability limits		
Hydrogen-air mixture	Lower = 4.0 vol%	Upper = 75 vol%
Hydrogen-oxygen mixture	Lower = 4.0 vol%	Upper = 95 vol%
Explosive limits		
Hydrogen-air mixture	Lower = 18.3 vol%	Upper = 59 vol%
Hydrogen-oxygen mixture	Lower = 15.0 vol%	Upper = 90 vol%
Minimum spark ignition energy at 1 atm		
In air	1.9×10 <sup>-8</sup> Btu	0.02 mJ
In Oxygen	6.6×10 <sup>-9</sup> Btu	0.007 mJ

Sumber: *Nasa Glenn Research Center Glenn Safety Manual (Chapter 6, 2010)*

Gas HHO terdiri dari gas Hidrogen dan Oksigen, dengan perbandingan komposisi mol 2:1. Perbandingan ini adalah perbandingan yang *stoikiometri* untuk terjadinya reaksi pembakaran (oksidasi) gas hidrogen oleh gas oksigen. Reaksi pembakaran pada gas HHO pada dasarnya adalah reaksi terikatnya kembali hidrogen pada oksigen untuk membentuk molekul air. Sebagaimana dapat dilihat pada persamaan reaksi kimia berikut ini:



Persamaan reaksi kimia tersebut merupakan kebalikan dari persamaan kimia pada proses elektrolisis air. Jika pada proses elektrolisis air bertujuan untuk memecah molekul air membutuhkan energi, maka sebaliknya pada reaksi oksidasi hidrogen melepaskan sejumlah energi. Gas hidrogen mempunyai beberapa karakteristik yaitu: tidak berwarna, mudah terbakar, sangat ringan dan sangat mudah bereaksi dengan zat kimia lainnya. Namun gas HHO pada kondisi normal tidak akan terbakar dengan sendirinya tanpa adanya sumber panas (api).

## **2.5 Generator HHO**

### **2.5.1 Prinsip Kerja Generator HHO**

Secara umum generator HHO terdiri dari dua komponen utama, yaitu tabung generator HHO (*HHO Cell*) dan sumber energi listrik. Tabung generator HHO terdiri dari susunan elektroda (anoda–katoda) dan larutan elektrolit. Sedangkan sumber energi listrik berupa listrik DC, bisa dari baterai, aki ataupun adaptor AC-DC.

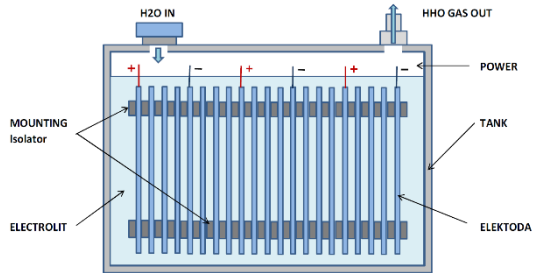
Generator HHO bekerja dengan prinsip elektrolisis air yaitu dengan mengalirkan arus listrik (DC) melalui elektrolit dengan perantara elektroda. Hal tersebut menyebabkan terjadinya perubahan energi listrik menjadi energi kimia yang disebut sebagai reaksi redoks. Reaksi tersebut menyebabkan terpecahnya molekul-molekul air dan membentuk gas hidrogen dan oksigen. Karena perbedaan berat jenis maka gas akan terangkat kepermukaan dan menuju tempat yang lebih tinggi. Semakin besar arus yang melewati larutan elektrolit maka akan semakin banyak pula gas HHO yang terbentuk. Dan masih banyak faktor lain yang mempengaruhi pada proses elektrolisis air ini, sehingga perlu terus dikaji agar tercapai generator HHO dengan performa yang lebih baik.

### **2.5.2 Klasifikasi Generator HHO**

Generator HHO diklasifikasikan menjadi dua tipe yaitu tipe basah (*wet type*) dan tipe kering (*dry type*):

### 2.5.2.1 Generator HHO tipe *Wet Cell*

Tipe basah (*wet type*) adalah generator HHO dimana semua elektrodanya terendam cairan elektrolit didalam sebuah bejana air seperti terlihat pada gambar dibawah ini:



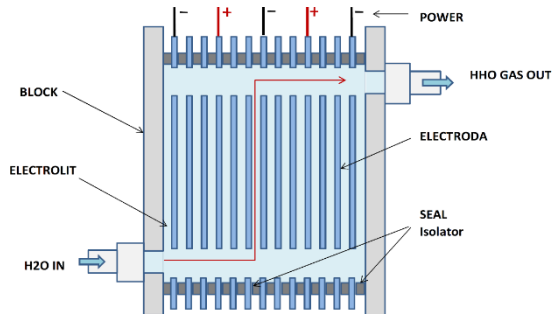
**Gambar 2.3** Generator HHO Tipe Basah

Keuntungan dari generator HHO tipe basah diantaranya:

- Gas HHO yang dihasilkan umumnya lebih banyak
- Rancang bangun pembuatannya lebih mudah
- Perawatan generator lebih mudah.

### 2.5.2.2 Generator HHO tipe *Dry Cell*

Tipe kering (*dry type*) adalah generator HHO dimana elektrodanya tidak seluruhnya terendam elektrolit tetapi elektrolit hanya mengisi celah-celah antar elektroda yang dibatasi oleh O-ring ataupun gasket dari bahan karet.



**Gambar 2.4** Generator HHO Tipe Kering

Adapun keuntungan dari Generator HHO tipe kering diantaranya:

- a. Panas yang ditimbulkan relatif kecil, karena panas dari elektrolit bisa ditransfer keluar ke udara bebas melalui elektroda dan adanya sirkulasi elektrolit dari *reservoir* ke *HHO Cell*.
- b. Daya listrik yang digunakan relatif lebih kecil, karena daya yang terkonversi menjadi panas semakin sedikit. Selain itu juga karena luas permukaan untuk proses elektrolisis relatif lebih kecil.
- c. Arus listrik dari elektroda terbatas pergerakannya karena air yang dielektrolisis juga terbatas, yakni hanya diantara celah antar elektroda sehingga arus listrik yang digunakan lebih optimal.

### **2.5.3 Komponen Generator HHO**

Secara umum agar proses elektrolisis gas HHO bisa terjadi, generator HHO terdiri dari dua komponen utama, yaitu tabung generator HHO (*HHO Cell*) dan sumber energi listrik. Namun apabila sistem ini akan diaplikasikan pada mesin tertentu, perlu adanya komponen-komponen pendukung lainnya. Secara menyeluruh sistem generator HHO dapat klasifikasikan menjadi beberapa komponen, diantaranya:

#### **2.5.3.1 Reservoir**

*Reservoir* adalah tempat penampungan larutan elektrolit sebelum disalurkan ke *HHO Cell*. *Reservoir* ini mempunyai beberapa fungsi diantaranya:

- a. Sebagai tempat pengisian larutan elektrolit
- b. Mengetahui level atau jumlah elektrolit yang masih tersisa
- c. Sebagai penangkap air (*water trap*) khususnya pada HHO tipe kering. Dengan cara mengalirkan output gas HHO ke reservoir terlebih dahulu sebelum disalurkan ke mesin.
- d. Apabila dilengkapi dengan skala ukur maka bisa digunakan untuk mengukur konsumsi elektrolit persatuan waktu.

### 2.5.3.2 Sumber Energi Listrik

Sumber energi listrik yang digunakan adalah sumber arus DC, bisa dari baterai, aki ataupun dari adaptor AC-DC. Semakin besar arus yang dialirkan semakin besar pula produksi gas HHO yang dihasilkan. Namun semakin besar arus semakin besar juga temperatur *HHO Cell*. Semua parameter tersebut juga semakin naik sesuai dengan fungsi waktu. Hal ini yang masih terus dikaji dan dikembangkan sampai saat ini, diantaranya dengan penerapan sistem PWM (*Pulse Width Modulation*), pengaturan frekuensi listrik, penerapan sistem rangkaian seri dan lain-lain. Dalam penelitian ini akan dilakukan percobaan dengan kombinasi pengaturan *duty cycle PWM (Pulse Width Modulation)* dan siklus *ON-OFF* bergantian secara otomatis dari dua generator HHO untuk mengendalikan laju kenaikan temperatur sehingga lama waktu operasi generator HHO meningkat.

### 2.5.3.3 HHO Cell

*HHO Cell* merupakan komponen dimana terjadi proses elektrolisis air menjadi gas oksigen dan hidrogen, dengan cara dialiri arus listrik melalui perantara elektroda. Terdiri dari dua tipe, yaitu tipe basah dan tipe kering (Gambar 2.3 dan 2.4). Pada tipe kering biasanya elektroda terbuat dari plat *stainless steel* yang disusun dan diberi gasket atau oring diantara susunan plat sehingga larutan elektrolit bisa mengalir didalamnya. Sedangkan pada tipe basah elektroda bisa bermacam-macam bentuknya seperti berbentuk spiral, plat, batang maupun berbentuk pipa silinder, yang dicelupkan kedalam bejana yang berisi larutan elektrolit. Bentuk, jumlah, ukuran dan jarak antar elektroda akan mempengaruhi konsumsi arus listrik dan produksi gas HHO yang dihasilkan.

### 2.5.3.4 Saluran Gas HHO

Saluran gas ini berfungsi untuk mengalirkan gas oksigen dan hidrogen hasil proses elektrolisis ke mesin yang akan di suplai gas HHO. Biasanya berupa selang dengan diameter kecil

yang tahan panas dan tidak mudah bocor. Pada saluran ini biasanya dipasang *check valve* agar tidak terjadi aliran balik.

## 2.5.4 Pemilihan Elektroda Generator HHO

Elektroda merupakan komponen yang penting pada proses elektrolisis air. Elektroda berfungsi sebagai penghantar arus listrik dari sumber tegangan ke air yang akan dielektrolisis, dimana akan terjadi reaksi reduksi dan oksidasi. Reaksi oksidasi akan terjadi pada kutub positif (anoda) dan reaksi reduksi akan terjadi pada kutub negatif (katoda). Oleh karena itu elektroda harus dipilih dari material yang memiliki konduktifitas listrik dan ketahanan korosi yang baik.

**Tabel 2.2** Spesifikasi *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

Sumber : *Corrosion Science and Technology* (David Tabolt, 1998)

*Stainless Steel* pada dasarnya adalah baja paduan logam besi (*Fe*) dengan unsur paduan utama *Carbon* (*C*), *Nikel* (*Ni*) dan *Cromium* (*Cr*). *Stainless Steel* merupakan logam paduan yang mempunyai konduktifitas dan ketahanan korosi yang relatif lebih baik dibanding logam-logam paduan maupun logam murni

lainnya dan harganya juga relatif lebih terjangkau. Secara garis besar *Stainless Steel* dapat dibagi menjadi lima kelompok (Harrold M. Cobb, 1999), yaitu:

1. *Austenitic Stainless Steel*
2. *Ferritic Stainless Steel*
3. *Martensitic Stainless Steel*
4. *Duplex Stainless Steel*
5. *Precipitation Hardening Stainless Steel*

Setiap kelompok *Stainless steel* terbagi lagi menjadi beberapa tipe dengan prosentase dan kandungan unsur paduan yang berbeda-beda, begitu pula dengan konduktifitas listrik serta ketahanannya terhadap korosi. Salah satunya adalah *stainless steel* tipe SS 316 L merupakan *stainless steel* yang relatif banyak tersedia di pasaran dan mempunyai konduktifitas serta ketahanan korosi yang baik, sehingga akan digunakan pada penelitian ini.

### **2.5.5 Larutan Elektrolit Sebagai Katalis Generator HHO**

Pada proses elektrolisis air, katalis yang digunakan adalah larutan elektrolit. Elektrolit dapat didefinisikan sebagai konduktor listrik, dimana arus listrik dibawa oleh pergerakan ion (Kira Sampat Gaikwad, 2004). Dengan melarutkan elektrolit di dalam air akan meningkatkan konduktifitas listrik dari air. Oleh karena itu penambahan elektrolit ini akan menurunkan energi yang dibutuhkan pada proses elektrolisis air, sehingga laju reaksi pemecahan molekul air menjadi lebih cepat. Apabila jumlah elektrolit yang dilarutkan ke air semakin banyak maka konduktifitas listrik dari air akan semakin tinggi, maka laju produksi gas HHO yang dihasilkan 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 bisa digunakan pada proses elektrolisis, baik dari jenis asam ataupun basa. Katalis yang bersifat asam seperti KCL, NaCL dan NaCO<sub>3</sub> dan yang bersifat

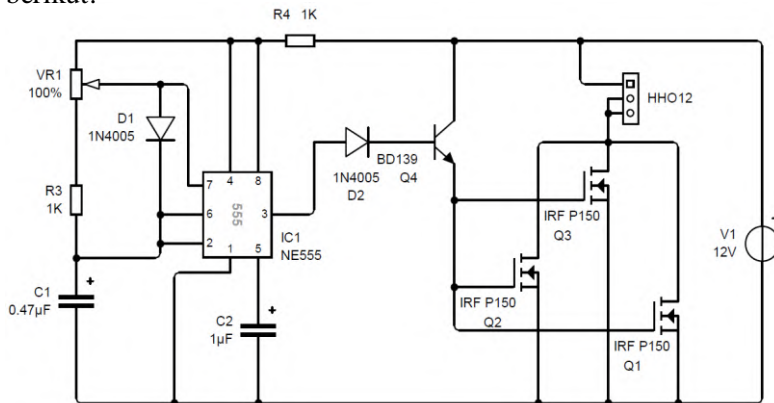
basa seperti NaOH, KOH dan NaHCO<sub>3</sub>. Katalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah kalium hidroksida (KOH) dengan konsentrasi 10-12 gram/Liter H<sub>2</sub>O (berdasarkan hasil penelitian saudara Suprastowo, FTI-ITS, 2009)

## 2.6 Sistem Elektrik

Pada sub bab ini akan dijelaskan beberapa rangkaian dan sistem kelistikan yang digunakan dalam penelitian ini, diantaranya rangkaian PWM (*Pulse Width Modulation*) dan sistem *ON-OFF* otomatis Generator HHO ganda dengan *timing* yang dapat divariasikan serta komponen-komponen elektronik yang digunakan.

### 2.6.1 PWM (*Pulse Width Modulation*)

Adapun rangkaian PWM (*Pulse Width Modulation*) yang digunakan dalam percobaan ini adalah seperti pada gambar berikut:



**Gambar 2.5** Rangkaian Elektronik PWM

*Pulse Width Modulation* (PWM) secara umum adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dalam pulsa dalam satu perioda, untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Beberapa contoh aplikasi PWM adalah pemodulasian data untuk telekomunikasi, pengontrolan daya atau tegangan yang masuk ke beban, regulator tegangan, *audio effect*

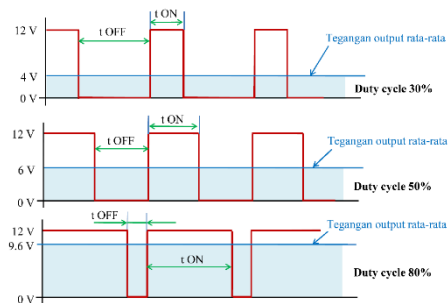


dan penguatan serta aplikasi-aplikasi lainnya. Dalam percobaan ini PWM berfungsi untuk mengontrol tegangan yang akan digunakan oleh generator HHO dalam proses elektrolisis air. Disamping itu *output* frekuensi listrik juga bisa diatur dalam rangkaian ini. Kedua hal diatas bertujuan untuk meminimalkan laju kenaikan temperatur pada saat proses elektrolisis terjadi yang secara otomatis akan menambah lama waktu operasi generator HHO.

Pengaturan tegangan dilakukan dengan cara mengatur lebar pulsa “ON” dan “OFF” dalam satu perioda gelombang melalui pemberian besar sinyal referensi output dari suatu rangkaian PWM sehingga akan didapat *duty cycle* yang diinginkan. *Duty cycle* dalam PWM dapat dinyatakan sebagai:

$$Duty\ Cycle = \frac{t_{ON}}{(t_{ON} + t_{OFF})} \times 100\% \dots\dots\dots (2.1)$$

*Duty cycle* 100% berarti tegangan keluaran rata-rata sama dengan tegangan sumber, jika tegangan sumber 12V maka tegangan keluaran PWM juga 12V. Pada *duty cycle* 50% maka tegangan keluaran rata-rata PWM adalah setengah dari tegangan sumber, sehingga tegangan keluaran rata-rata menjadi 6V dan begitu seterusnya.



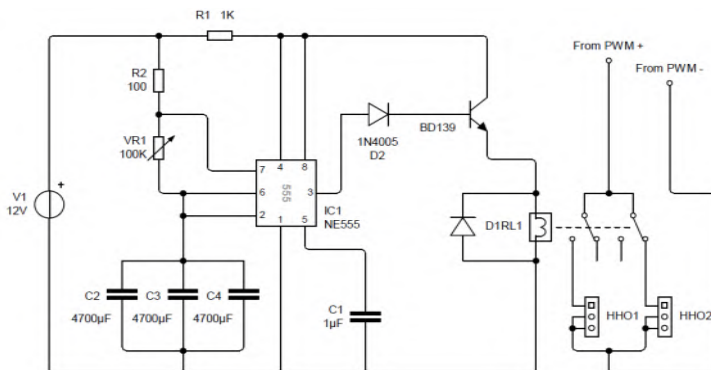
**Gambar 2.6** *Duty Cycle PWM (Pulse Width Modulation)*

Dalam rangkaian PWM seperti diatas, pengaturan *duty cycle* dilakukan dengan mengubah besar hambatan melalui

potensio (P1). Dengan memutar potensio searah jarum jam maka nilai hambatan akan naik dan harga *duty cycle* juga akan naik. Pada percobaan ini *duty cycle* tidak akan divariasikan, namun diseting tetap pada 50-60% *duty cycle PWM* (berdasarkan penelitian saudara Ratih Novi Arini, 2012), dimana efisiensi dan laju produksi tertinggi tercapai 21% dan  $1.745 \times 10^{-6}$  kg/s pada 55% *duty cycle PWM*. Sedangkan frekuensi listrik yang akan digunakan adalah 25-30 Hz (berdasar penelitian saudara Rizky Akbar P., 2013).

## 2.6.2 Sistem ON-OFF Generator HHO

Tidak seperti pada pengaturan *duty cycle PWM* dan frekuensi listrik yang diseting tetap (meskipun aktualnya bisa divariasikan). Sistem *ON-OFF* generator HHO ini adalah sistem yang akan coba dibangun dan menjadi fokus perhatian pada penelitian ini, yaitu dengan cara mengkombinasikan PWM dan variasi siklus *ON-OFF* otomatis dari dua generator HHO yang dioperasikan secara bergantian. Kemudian dianalisa performa dari generator HHO, khususnya terkait dengan laju kenaikan temperatur dan lama waktu operasi Generator HHO. Berikut adalah gambar rangkaian elektronik *timer ON-OFF* generator HHO yang digunakan:



**Gambar 2.7** Rangkaian Elektronik *Timer ON-OFF*

Seperti terlihat pada gambar diatas komponen utama untuk pengaturan waktu *ON-OFF* yaitu dengan menggunakan IC NE555, yang dikombinasikan dengan kapasitor (C2, C3, C4) dan resistor (R2 dan VR1). *Relay* digunakan untuk *switching* power suplai *PWM* yang menuju ke HHO1 atau ke HHO2. Kutub *NO relay* terhubung ke HHO1 dan kutub *NC relay* terhubung ke HHO2. Pengaturan waktu *ON-OFF* dilakukan dengan memutar potensio (VR1) searah jarum jam untuk menambah lama waktu siklus *ON-OFF* generator HHO. Adapun rumus waktu *ON-OFF* adalah  $t = 0.693 (R2 + 2VR1) C$ . Dimana “R” adalah hambatan resistor dan “C” adalah kapasitas kapasitor C2, C3 dan C4 (*Datasheet IC NE555, 2012*).

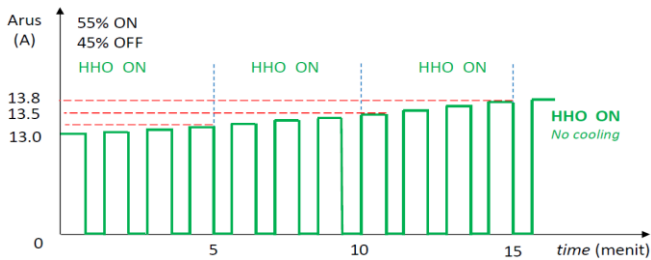
Dalam percobaan ini akan dikaji tentang unjuk kerja generator HHO ganda meliputi: kenaikan temperatur, daya yang digunakan, produksi gas HHO dan lama waktu operasi HHO sampai mencapai temperatur maksimal (dalam percobaan ini temperatur dibatasi sampai 80 °C). Adapun variasi waktu siklus *ON-OFF* yang akan digunakan yaitu 5 menit dan 10 menit. Data-data akan diambil dari masing-masing variasi waktu dan akan dibandingkan dengan sistem yang sudah ada sebagai materi pembahasan pada bab empat, kemudian diambil kesimpulanya.

### 2.6.3 Perbedaan Mekanisme Kerja *Single* dan *Double HHO*

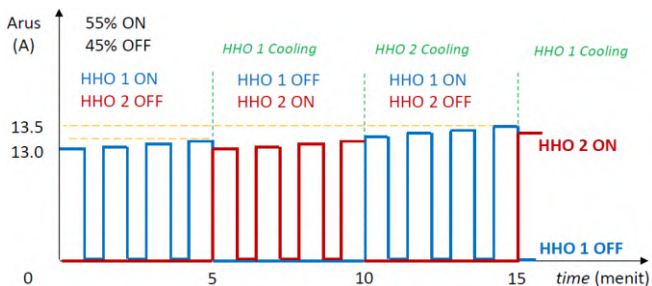
Perbedaan mendasar antara sitem kerja *single HHO* dan *double HHO* adalah pada *single HHO*, secara mekanis *HHO cell* bekerja terus menerus sepanjang generator HHO dioperasikan. Namun secara elektrik, arus listrik yang diberikan diputus dan disambung menggunakan sistem *PWM* dengan perbandingan waktu 55% disambung dan 45% diputus dengan frekuensi 26 Hz. Sedangkan pada *double HHO*, selain secara elektrik arus listrik yang diberikan diputus dan disambung seperti pada *single HHO*, secara mekanis *HHO cell* juga dilakukan pemutusan (*OFF*) dan penyambungan (*ON*), dimana ketika *HHO cell 1* pada posisi *ON* maka *HHO cell 2* pada posisi *OFF* dan ketika *HHO cell 1* pada posisi *OFF* maka *HHO cell 2* pada posisi *ON* begitu seterusnya bekerja secara bergantian dan *independent* sesuai seting *timer*

yang ditentukan. Tujuan dari pemutusan dan penyambungan secara elektris PWM adalah untuk menurunkan laju kenaikan arus listrik dan laju kenaikan temperatur elektrolit. Begitu juga pemutusan dan penyambungan *HHO cell* secara mekanis juga bertujuan untuk menurunkan laju kenaikan arus listrik dan laju kenaikan temperatur elektrolit. Dari penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa sistem kerja *double HHO* akan mempunyai harga laju kenaikan arus listrik dan temperatur elektrolit yang lebih rendah karena dilakukan dua kali pemutusan dan penyambungan, yaitu secara mekanis dan elektris.

Secara sederhana suplai arus listrik dapat digambarkan seperti grafik sebagai berikut:



a. Suplai Arus Listrik pada *Single HHO*



b. Suplai Arus Listrik pada *Double HHO*

**Gambar 2.8** Ilustrasi Suplai Arus pada *Single* dan *Double HHO*

Dari ilustrasi gambar 2.8 dapat dilihat bahwa laju kenaikan arus listrik pada *double HHO* lebih rendah dari pada *single HHO*, pada *single HHO* dimenit ke 15 arus mencapai 13.8 ampere sedangkan pada *double HHO* baru mencapai 13.5 ampere. Pada sistem *single, HHO cell* terus aktif sehingga tidak terjadi proses pendinginan, sedangkan pada sistem *double, HHO cell* mengalami siklus *OFF* sehingga terjadi proses pendinginan. Adanya proses pendinginan tersebut menyebabkan laju kenaikan temperatur menurun sehingga waktu operasi generator HHO akan semakin lama.

#### **2.6.4 Komponen Kontrol Elektrik**

Sesuai dengan pembahasan sebelumnya mengenai rangkaian PWM (*Pulse Width Modulation*) dan sistem *ON-OFF* Generator HHO, maka pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai komponen-komponen elektronik yang digunakan beserta fungsinya, meliputi:

##### **2.6.4.1 Switching Regulator AC-DC**

*Switching power supply* merupakan rangkaian elektronik *assembly* yang berfungsi mengubah arus listrik AC menjadi DC dengan output tegangan tertentu. Dalam penelitian ini digunakan *Switching* merk Brilliant, model FDPS-360W dengan output 12V DC dengan range kerja maksimal 30 Amper

##### **2.6.4.2 IC NE 555**

*Integrated Circuit* (IC) merupakan komponen elektronika aktif yang terdiri dari gabungan transistor dan resistor dan komponen lainnya yang diintegrasikan menjadi sebuah rangkaian elektronika dalam sebuah kemasan kecil. IC mempunyai banyak fungsi, namun dalam penelitian ini IC difungsikan sebagai pengaturan *duty cycle* pada rangkaian PWM (*Pulse Width Modulation*) dan sebagai *timer* untuk mengatur lama waktu siklus *ON-OFF* generator HHO.

#### **2.6.4.3 Transistor**

Transistor merupakan komponen elektronika aktif, yang biasanya terbuat dari bahan semikonduktor yang mempunyai banyak fungsi. Beberapa fungsi transistor diantaranya sebagai penguat, sebagai sirkuit pemutus dan penyambung (*switching*), stabilisasi tegangan, modulasi sinyal atau sebagai fungsi lainnya. Pada umumnya transistor memiliki tiga terminal yaitu *Basis (B)*, *Emitor (E)* dan *Colector (C)*. Berdasarkan strukturnya, transistor terdiri dari dua tipe yaitu tipe PNP dan NPN. UJT (*Uni Junction Transistor*), FET (*Field Effect Transistor*), dan MOSFET (*Metal Oxide Semikonduktor FET*) juga merupakan jenis-jenis transistor (*David G, dkk, 2011*). Transistor dalam penelitian ini dimanfaatkan sebagai *switch power*, yaitu dari jenis NPN yakni N3055 dan sebagai *switch* kecepatan tinggi pada pengaturan pulsa *duty cycle PWM*, yaitu dari jenis MOSFET yakni IRF P150.

#### **2.6.4.4 Resistor**

Resistor merupakan komponen elektronika pasif yang digunakan untuk membatasi jumlah arus yang mengalir dalam suatu rangkaian. Sesuai dengan namanya resistor bersifat resistif dan umumnya terbuat dari bahan *carbon*. Dari hukum Ohm diketahui bahwa resistansi berbanding terbalik dengan jumlah arus yang mengalir melaluinya. Satuan resistansi suatu resistor disebut Ohm dan dilambangkan dengan simbol ( $\Omega$ ) Omega. Hambatan resistor sering disebut dengan resistansi dan nilainya pada umumnya diwakili dengan kode angka ataupun gelang warna yang terdapat pada badan resistor.

#### **2.6.4.5 Capacitor**

Capasitor atau sering juga disebut sebagai condensator merupakan komponen elektronika pasif yang dapat menyimpan energi atau muatan listrik dalam sementara waktu. Satuan nilai untuk kapasitor adalah Farad (*F*). Beberapa fungsi dari kapasitor diantaranya sebagai perata arus pada *rectifier*, sebagai filter dalam rangkaian power suplai dan yang lainnya. Dalam penelitian ini

kapasitor merupakan komponen utama yang digunakan sebagai penyimpanan listrik sementara pada rangkaian PWM dan siklus *ON-OFF*. Dengan memanfaatkan siklus *charge* dan *discharge* kapasitor maka akan didapatkan siklus *ON-OFF* dengan timing milisekon sampai menit untuk pengaturan *duty cycle* dan *timer ON-OFF*.

#### **2.6.4.6 Relay**

Secara umum *relay* merupakan komponen elektronik yang bekerja dengan sistem induksi *electromagnet*, yang mana apabila arus dialirkan pada lilitan kawat dengan inti besi maka akan terjadi gaya medan magnet. Gaya medan magnet ini yang dimanfaatkan untuk mengubah posisi inti besi saat diberi arus listrik dan tidak diberi arus listrik. Pergerakan ini dimanfaatkan untuk menghubungkan kontak *NO (Normally Open)* atau *NC (Normally Close)* untuk memutus dan menyambungkan arus listrik dari luar sistem *relay*. Dalam penelitian ini *relay* difungsikan sebagai aktuator penyambung dan pemutus power listrik ke HHO cell dan digunakan sebagai trigger ke IC NE555 pada rangkaian siklus *ON-OFF* otomatis.

#### **2.6.4.7 Potentiometer**

Potensiometer merupakan salah satu jenis resistor variabel yang harga resistansinya bisa diatur sesuai keinginan. Dibuat dalam bentuk rotary, sehingga untuk menambah atau mengurangi harga resistansi hanya perlu memutar potensio searah atau berlawanan arah jarum jam. Dalam penelitian ini potensiometer dikombinasikan dengan kapasitor berfungsi untuk pengaturan variasi lebar pulsa *duty cycle PWM* dan variasi lama waktu siklus *ON-OFF* dengan cara menaikkan dan menurunkan besar hambatan.

#### **2.6.4.8 Dioda**

*Dioda* adalah komponen elektronika aktif yang berfungsi untuk menghantarkan arus listrik ke satu arah dan menghambat listrik dari arah sebaliknya. Terdiri dari dua elektroda yaitu anoda dan katoda, dengan sistem kerja *forward* dan *reverse* bias.

Terdapat banyak jenis *dioda* dan mempunyai karakteristik kerja masing-masing.

## 2.7 Parameter Performa Generator HHO

Salah satu hal penting yang harus diperhatikan dalam pemasangan generator HHO adalah seberapa besar daya yang dibutuhkan oleh generator HHO dan seberapa besar pengaruhnya terhadap performa mesin yang didukung generator HHO tersebut. Kedua hal tersebut harus sama-sama mencapai kondisi optimal sesuai dengan kondisi operasi yang diinginkan.

Adapun parameter performa generator HHO yang akan dibahas diantaranya:

### 2.7.1 Daya Generator HHO

Untuk menghasilkan gas HHO dengan menggunakan proses elektrolisis air tentunya dibutuhkan energi listrik. Dalam penelitian ini sumber energi listrik diambil langsung dari sumber AC PLN dengan terlebih dahulu mengubahnya menjadi arus DC. Perhitungan daya yang di butuhkan Generator HHO dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$P = V \times I \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

P : Daya yang dibutuhkan generator HHO ( Watt )

V : Beda potensial ( Volt )

I : Arus listrik (Ampere)

### 2.7.2 Laju Produksi (*flowrate*) Gas HHO

Produk utama dari proses elektrolisis air dengan menggunakan generator HHO adalah gas HHO. Sehingga untuk mengetahui performa dari generator HHO, perlu diketahui laju produksi gas HHO yang dihasilkan oleh generator HHO itu sendiri.

Untuk menghitung *mass flowrate* gas HHO ( $\dot{m}_{HHO}$ ), dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut:



$$\dot{m}_{HHO} = Q \times \rho \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

$\dot{m}_{HHO}$  : Laju produksi gas HHO ( kg/s )

Q : Debit produksi gas HHO ( m<sup>3</sup>/s )

$\rho$  : masa jenis gas ( kg/m<sup>3</sup> )

Dengan perumusan debit gas HHO:

$$Q = \frac{Volume}{t \text{ prod}} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

Volume : volume gas HHO terukur ( m<sup>3</sup> )

t prod : waktu produksi gas HHO ( s )

Dari persamaan reaksi kimia elektrolisis air (H<sub>2</sub>O) dapat diketahui besar kandungan masa H<sub>2</sub> dalam gas HHO. Jika masa H<sub>2</sub>O yang dielektrolisis sebanyak 1 kg, maka masa produk total H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> juga 1 kg, sehingga dengan mengetahui nilai Mr H<sub>2</sub>O : 18, Mr H<sub>2</sub> : 2 dan Mr O<sub>2</sub> : 32, maka didapatkan mol H<sub>2</sub> :



$$Mol = \frac{Massa}{Mr} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Dari perbandingan mol pada persamaan reaksi kimia elektrolisis air, maka dapat dihitung besarnya massa gas H<sub>2</sub> dalam 1 kg gas HHO, sebagai berikut:

$$m_{H_2} = Mr_{H_2} \times Mol_{H_2O} = 2 \times 1/18 = 1/9 \text{ kg} = 0,112 \text{ kg}$$

$$n_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{Mr_{H_2O}} = \frac{1 \text{ kg}}{18} = 0,056 \text{ mol}$$

$$n_{H_2} = \frac{m_{H_2}}{Mr_{H_2}} = \frac{0,112 \text{ kg}}{2} = 0,056 \text{ mol}$$

Jika pada STP massa jenis H<sub>2</sub> diketahui sebesar 0,08235 gr/liter dan masa jenis O<sub>2</sub> sebesar 1,3088 gr/liter (*Cole Parmer*

*Instrument, 2005*), maka massa jenis HHO dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\rho_{HHO} &= \frac{m_{HHO}}{V_{HHO}} = \frac{(m_{H_2} + m_{O_2})}{V_{HHO}} \\ &= \frac{(\rho_{H_2} \cdot V_{H_2} + \rho_{O_2} \cdot V_{O_2})}{V_{HHO}} \\ &= \frac{(\rho_{H_2} \cdot \frac{2}{3} V_{HHO} + \rho_{O_2} \cdot \frac{1}{3} V_{HHO})}{V_{HHO}} = \frac{2}{3} \times \rho_{H_2} + \frac{1}{3} \times \rho_{O_2} \\ \rho_{HHO} &= (2/3 \times 0,08235 \text{ gr/liter} + 1/3 \times 1,3088 \text{ gr/liter}) \\ &= 0,491167 \text{ gr/liter}\end{aligned}$$

### 2.7.3 Efisiensi Generator HHO

Efisiensi merupakan perbandingan antara energi yang berguna dengan energi yang diberikan pada suatu sistem. Besarnya efisiensi suatu alat konversi energi menunjukkan seberapa optimal alat tersebut dapat bekerja. Besarnya efisiensi dapat dihitung dari persamaan berikut:

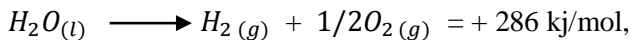
$$\eta = \frac{\text{Energi yang berguna (output)}}{\text{Energi yang diberikan (input)}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

Pada generator HHO hasil yang berguna adalah produk elektrolisa air yang berupa gas HHO. Gas HHO yang terdiri dari gas  $H_2$  dan  $O_2$  mempunyai nilai kalor yang tinggi, sehingga dapat dimanfaatkan energi yang terkandung didalamnya untuk meningkatkan pembakaran pada motor bakar. Karakteristik gas HHO cenderung memiliki karakteristik yang hampir sama dengan gas penyusunnya (gas  $H_2$ ).

Perubahan entalpi pembakaran standart adalah perubahan entalpi total pada suatu sistem reaksi (dimana reaktan dan produk reaksi dinyatakan sebagai sistem termodinamik), yang terjadi ketika suatu molekul bereaksi sempurna dengan oksigen yang terjadi pada  $298^\circ \text{ K}$  dan tekanan atmosfer 1 atm. 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 terkandung di dalamnya. 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 sebagai entalpi (H). Entalpi akan tetap konstan selama tidak ada energi yang masuk atau keluar dari zat, misalnya entalpi untuk air dapat ditulis  $H_2O_{(l)}$  dan untuk es ditulis  $H_2O_{(s)}$ . 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 penerimaan atau pelepasan kalor dinyatakan dalam perubahan entalpi ( $\Delta h$ ).

Pada reaksi penguraian air :



Merupakan reaksi endoterm yang menghasilkan energi entalpi yang bernilai positif (+). Energi entalpi yang dihasilkan adalah  $\Delta h_f = + 286 \text{ kJ/mol}$  ([http://electrolysis\\_of\\_water\\_and\\_fuel\\_cell.html](http://electrolysis_of_water_and_fuel_cell.html))

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

$$PV = n \cdot \bar{R} \cdot T \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana:

- $P$  : tekanan gas ideal (atm)
- $V$  : volume gas terukur (liter)
- $n$  : molaritas senyawa (mol)
- $\bar{R}$  : konstanta gas ideal (liter.atm/mol.K)
- $T$  : Temperatur (K)

Energi ikatan didefinisikan sebagai energi yang diperlukan untuk memutuskan satu 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. Perumusanya sebagai berikut:

$$P\dot{V} = \dot{n} \cdot \bar{R} \cdot T \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

$$\dot{n} = \frac{P \cdot \dot{V}}{\bar{R} \cdot T} \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana:

$P$	: tekanan gas ideal	( <i>atm</i> )
$\dot{V}$	: volume gas per detik	( <i>liter/s</i> )
$\bar{R}$	: konstanta gas ideal	( <i>liter.atm/mol.K</i> )
$\dot{n}$	: molaritas senyawa per waktu	( <i>mol/s</i> )

Massa  $\text{H}_2$  dalam gas HHO hanya sebesar 1/9 masa total gas HHO, maka NKB gas HHO adalah 1/9 kali NKB gas  $\text{H}_2$  yaitu:  $1/9 \times 119,93 \text{ kJ/g} = 13,325 \text{ kJ/g}$  atau  $3812,754 \text{ kkal/kg}$ . Jika pada STP massa jenis  $\text{H}_2$  diketahui sebesar:  $0,08235 \text{ gr/liter}$  dan  $\text{O}_2$  sebesar:  $1,3088 \text{ gr/liter}$  (*Cole Parmer Instrument, 2005*), maka efisiensi generator HHO dapat dinyatakan dengan persamaan berikut ini:

$$\eta = \frac{\Delta h_f \cdot \dot{n} \cdot t}{V \cdot I \cdot t} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana:

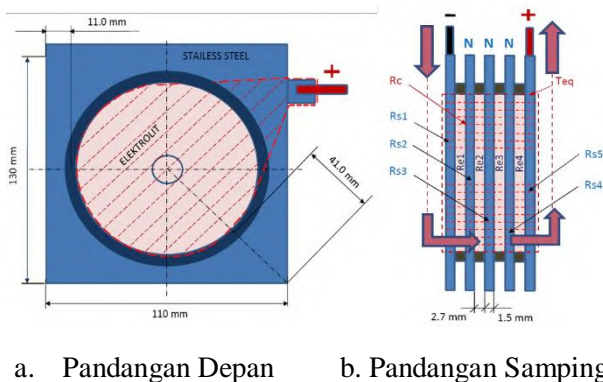
$\eta$	: efisiensi	(%).
$\Delta h_f$	: Besarnya energi untuk penguraian 1 mol ikatan molekul air	( <i>+286 kJ/mol</i> )
$\dot{n}$	: molaritas senyawa per waktu	( <i>mol/s</i> )
$V$	: Tegangan listrik	( <i>Volt</i> )
$I$	: Arus listrik	( <i>Ampere</i> )
$t$	: waktu operasi	( <i>sekon</i> )

### 2.7.4 Laju Kenaikan Temperatur Elektrolit

Kenaikan temperatur elektrolit generator HHO terjadi karena adanya *energy generation* ( $\dot{E}_g$ ) yang disebabkan adanya aliran listrik melalui suatu media penghantar (elektroda dan elektrolit). Panas yang terjadi akibat adanya energi bangkitan tersebut juga akan dikeluarkan atau di transfer ke lingkungan ( $\dot{E}_{out}$ ) melewati plat-plat *stainless steel* melalui proses konduksi ( $Q_{cond}$ ), konveksi ( $Q_{conv}$ ) dan radiasi ( $Q_{rad}$ ). Apabila harga energi keluar ( $\dot{E}_{out}$ ) sama dengan energi bangkitan ( $\dot{E}_g$ ) maka energi yang tersimpan ( $\dot{E}_{st}$ ) mempunyai harga “ nol ” maka temperatur sistem akan konstan, namun apabila harga harga energi keluar ( $\dot{E}_{out}$ ) lebih rendah energi bangkitan ( $\dot{E}_g$ ) maka akan ada energi yang tersimpan ( $\dot{E}_{st}$ ) yang menimbulkan panas dalam sistem.

#### 2.7.4.1 Ilustrasi Aliran Arus Listrik dalam HHO Cell

Aliran arus listrik pada *HHO cell* tipe kering dapat diilustrasikan seperti gambar 2.8 sebagai berikut:



a. Pandangan Depan

b. Pandangan Samping

**Gambar 2.9** Ilustrasi Aliran Arus Listrik dalam *HHO Cell*

$$\begin{aligned} \text{Luas total elektroda (A}_{tot}) &= P \times L \\ &= 0.13 \text{ m} \times 0.11 = 0.0143 \text{ m}^2 \\ \text{Luas area elektrolisis (A}_{e}) &= \pi \cdot r^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 3.14 \times 0.043^2 \\
 &= 5.805 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \\
 \text{Luas area pendingin (Ac)} &= \text{Atot} - \text{Ae} \\
 &= 0.0143 - 5.805 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \\
 &= 8.494 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \\
 \text{Panjang laluan (L)} &= \text{Elektroda (1.5 x 10 = 15 mm)} \\
 &\quad \text{dan H}_2\text{O (2.7 x 9 = 25 mm)} \\
 &= 40 \text{ mm (0.04 m)} \\
 \text{Resistansi (R}_{\text{tot}}) &= \Sigma (\text{R}_s + \text{R}_e) = 0.45 \Omega \\
 &= 0.45 \Omega / 0.04 \text{ m} \\
 &= 11.25 \Omega/\text{m}
 \end{aligned}$$

#### 2.7.4.2 Properties Material

Harga properties material dan konstanta yang digunakan dalam perhitungan laju temperatur meliputi:

- ❖ Properties *Stainless Steel AISI 304*:
  - Koefisien konduksi (k) = 14.9 W/m.K
  - Density ( $\rho$ ) = 7900 kg/m<sup>3</sup>
  - Panas jenis (c) = 477 J/kg.K
- ❖ Properties Elektrolit H<sub>2</sub>O:
  - Density ( $\rho$ ) = 1000 kg/m<sup>3</sup>
  - Panas jenis (c) = 4179 J/kg.K
- ❖ Konveksi:
  - Koefisien konveksi (h) = 2-25 W/m<sup>2</sup>.K (*free convection*)
- ❖ Radiasi:
  - Emissivity ( $\epsilon$ ) = 0.8
  - Tetapan Boltzmann ( $\sigma$ ) = 5.67 x 10<sup>-8</sup> W/m<sup>2</sup>. K<sup>4</sup>

Sumber : *Fundamental of Heat and Mass Transfer (Theodore L. B,dkk, 2002)*

#### 2.7.4.3 Persamaan Total Heat Transfer pada Generator HHO

Hubungan antara *energy generation* ( $\dot{E}_g$ ) dan energi atau panas yang keluar ( $\dot{E}_{\text{out}}$ ) serta *energy storage* ( $\dot{E}_{\text{st}}$ ) dapat dirumuskan seperti persamaan *total heat transfer* sebagai berikut:

$$\dot{E}_g - \dot{E}_{out} = \dot{E}_{st} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dari persamaan 2.11 dapat dijabarkan menjadi:

$$I^2 \cdot R_{tot} \cdot L - Q_{cond} - Q_{conv} - Q_{rad} = \dot{E}_{st}$$

$$I^2 \cdot R_{tot} \cdot L - \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k \cdot (T_{eq} - T_c)}{\ln(r_2/r_1)} - h \cdot A \cdot (T_c - T_{inv}) - \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_c^4 - T_{sur}^4) = \frac{d}{dt} \rho \cdot c \cdot V \cdot T$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{I^2 \cdot R_{tot} \cdot L - \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k \cdot (T_{eq} - T_c)}{\ln(r_2/r_1)} - h \cdot A \cdot (T_c - T_{inv}) - \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_c^4 - T_{inv}^4)}{\rho \cdot c \cdot V} \dots\dots (2.12)$$

Dimana:

$\dot{E}_g$  : *Energy generation*, merupakan energi bangkitan karena adanya aliran listrik melalui suatu media, yang dikonversi menjadi energi panas (**Watt**)

$\dot{E}_{out}$  : Energi panas yang ditransfer ke lingkungan, secara konduksi (***Qcond***), konveksi (***Qconv***) dan radiasi (***Qrad***) (**Watt**)

$\dot{E}_{st}$  : *Energy storage*, merupakan energi yang masih tersimpan yang menyebabkan kenaikan temperatur dalam sistem (**Watt**)

$\frac{dT}{dt}$  : Laju temperatur persatuan waktu (**°C/s**)

#### 2.7.4.4 Kenaikan Temperatur Elektrolit pada *Single* dan *Double HHO*

Laju kenaikan temperatur elektrolit generator HHO dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.12 sehingga didapatkan harga laju temperatur per satuan waktu (dT/dt). Dari harga laju temperatur tersebut kemudian digunakan untuk menghitung kenaikan temperatur pada *single* dan *double HHO* sebagai berikut:

**a. Kenaikan Temperatur Elektrolit pada *Single HHO***

$$\Delta T_s(t) = T_o + (dT/dt) \cdot t \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana :

$\Delta T_s(t)$  : Temperatur elektrolit *single HHO* fungsi waktu ( °C )

$T_o$  : Temperatur elektrolit awal ( °C )

$dT/dt$  : Laju kenaikan temperatur elektrolit (°C/s)

$t$  : Waktu operasi generator HHO ( s )

**b. Kenaikan Temperatur Elektrolit pada *Double HHO***

Pada *double HHO* selama dioperasikan akan terjadi siklus *ON* dan siklus *OFF* secara bergantian, maka laju kenaikan temperatur elektrolit adalah setengah dari laju normal ( $dT/dt$ ). Selain itu pada saat siklus *OFF* juga akan terjadi penurunan sebesar  $n\%$  dari kenaikan temperaturnya ( $1/2 dT/dt$ ). Dari situ maka laju kenaikan temperatur pada *double HHO* dapat dirumuskan menjadi:

$$\Delta T_d(t) = T_o + [1/2(dT/dt) - n (1/2dT/dt)] \times t \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana :

$\Delta T_d(t)$  : Temperatur elektrolit *double HHO* fungsi waktu ( °C )

$T_o$  : Temperatur elektrolit awal ( °C )

$dT/dt$  : Laju kenaikan temperatur elektrolit (°C/s)

$t$  : Waktu operasi generator HHO ( s )

$n$  : Rata-rata penurunan temperatur ( $\Delta T_{OFF}$ ) ( % )

*double HHO timing ON-OFF 5 menit* : 52 %

*double HHO timing ON-OFF 15 menit* : 74 %

*double HHO timing ON-OFF 20 menit* : 76 %

**2.8 Penelitian Terdahulu**

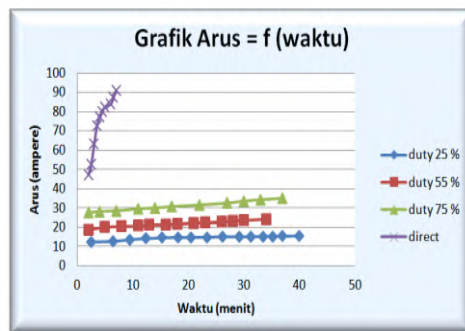
Adapun beberapa penelitian sebelumnya, yang ada kaitannya dengan topik bahasan yang akan dikaji dalam penelitian ini diantaranya, penelitian oleh:



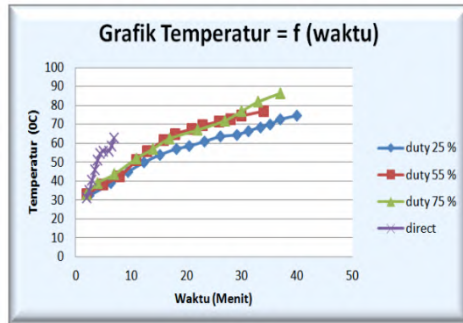
### 2.8.1 Penelitian Saudara Yahya A. Kurniawan

Penelitian saudara Yahya A. Kurniawan dengan judul “Studi Eksperimental Laju Produksi Gas HHO Pada Generator Tipe *Wet* dan *Dry Cell* berdimensi 90x90 mm dengan penambahan PWM E-1”. Penelitian dilakukan pada generator HHO *dry* dan *wet cell* tanpa PWM dan dengan penambahan PWM E-1. Penelitian di variasikan antara tipe *wet* dan *dry* yang menggunakan elektroda plat SS 316L dengan tebal 1.2 mm, dimensi yang mengalami proses elektrolisis yaitu 90 x 90 mm. Elektrolit yang digunakan adalah KOH. Dan PWM E-1 yang ditambahkan berguna untuk mengatur *duty cycle* dan frekuensi tetap 1.5 KHz. Pengujian yang dilakukan untuk membandingkan produksi gas HHO dengan menggunakan *duty cycle* 25%, 55%, 75% dan *direct connection* dimana menggunakan penambahan PWM E-1 untuk memvariasikan *input* sumber listrik. Diharapkan diperoleh produk gas HHO yang optimal serta temperatur generator dibawah 50 °C. Hasil terbaik didapat pada generator tipe *wet* dengan *duty cycle* 75% yaitu: efisiensi 31.4%, laju produksi  $8.18 \times 10^{-6}$  kg/s, konsumsi daya 619,2 Watt. Untuk arus cenderung naik untuk semua jenis generator. Dan Temperatur rata-rata mengalami kenaikan landai untuk generator ber PWM pada semua variasi *duty cycle*.

Grafik hasil penelitian :



a. Grafik Arus vs Waktu



b. Grafik Temperatur vs Waktu

**Gambar 2.10** Grafik Studi Eksperimen Generator Tipe *Dry Cell* berdimensi 90 x 90 mm dengan penambahan PWM E-1

Kesimpulan:

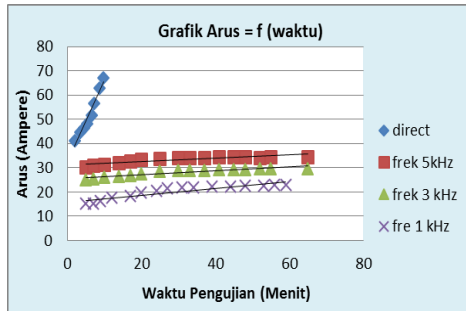
Dari gambar 2.10 diatas dapat disimpulkan bahwa baik arus listrik maupun temperatur, semua menunjukkan *trend* naik seiring dengan waktu operasi generator HHO. Grafik arus dengan sumber listrik langsung (*direct*) mengalami kenaikan paling signifikan, kemudian menurun untuk *duty cycle* PWM 75% dan semakin menurun untuk *duty cycle* PWM 55% dan 25%.

### 2.8.2 Penelitian Saudara Wardiyanto

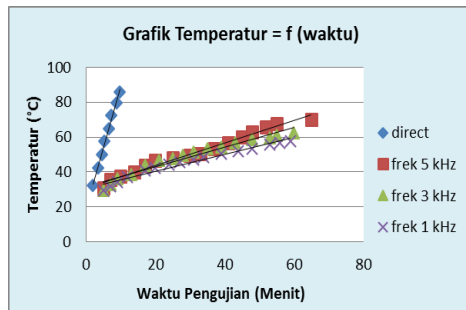
Penelitian saudara Wardiyanto dengan judul “Pengaruh Penggunaan PWM E-2 VF Terhadap Performa Generator HHO Tipe *Dry* dan *Wet Cell* Berdimensi 70 x 70 mm”. Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen untuk mendapatkan performa dari generator HHO tipe *wet* dan *dry*. Generator HHO menggunakan elektrode plat *Stainless Steel AISI 316L* dengan tebal 1.5 mm berdimensi 70 x 70 mm dan elektrolit merupakan campuran antara aquades dan KOH . Pengujian generator gas HHO tipe *wet* dan *dry* ini akan dilakukan dengan menggunakan Sistem *Direct* dan dengan Sistem *Indirect* yaitu menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM E-2VF). Pengujian dengan Sistem *Indirect* (menggunakan PWM E-2VF) diberikan variasi

frekuensi 1kHz, 3 kHz, dan 5 kHz dengan *duty cycle PWM* konstan 50% yang dialirkan ke generator HHO.

Grafik hasil penelitian :



a. Grafik Arus vs Waktu



b. Grafik Temperatur vs Waktu

**Gambar 2.11** Grafik Pengaruh Penggunaan PWM E-2 VF Terhadap Performa Generator HHO Tipe *Dry Cell*

Kesimpulan:

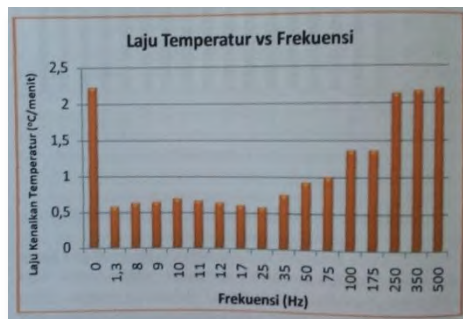
Dari gambar 2.11 diatas dapat disimpulkan bahwa baik arus listrik maupun temperatur elektrolit semua menunjukkan *trend* naik seiring dengan waktu operasi generator HHO. Laju kenaikan paling tinggi pada sumber listrik langsung (*direct*), dan semakin menurun dengan menurunnya frekuensi listrik yang digunakan.

Seperti pada penelitian sebelumnya, grafik temperatur vs waktu juga menunjukkan kenaikan yang paling signifikan.

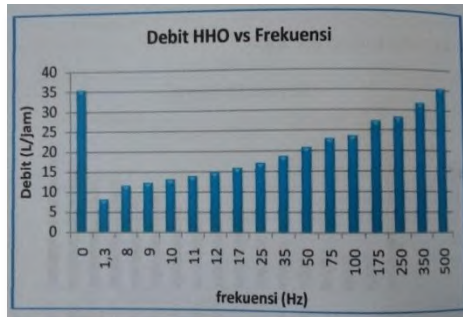
### 2.8.3 Penelitian Saudara Rizky Akbar Pratama

Penelitian saudara Rizky A. Pratama dengan judul “Pengaruh Penggunaan Frekuensi Listrik terhadap Performa Generator HHO dan Unjuk Kerja Engine Honda Kharisma 125 cc”. Pengujian dilakukan secara eksperimental dengan menggunakan Generator HHO pada *engine* Honda Kharisma berkapasitas 125cc. Generator HHO tersebut menggunakan Elektroda jenis pipa *Stainless steel AISI 316L* dengan ukuran  $\varnothing 21\text{mm} \times 101\text{mm}$ ,  $\varnothing 34\text{mm} \times 101\text{mm}$ ,  $\varnothing 48\text{mm} \times 101\text{mm}$  dan  $\varnothing 61\text{mm} \times 101\text{mm}$  dengan tebal 3 mm, larutan elektrolit 2 liter aquades dan 1,4 KOH. Variasi yang diberikan pada generator HHO adalah besar frekuensi listriknya. Untuk pengujian, perubahan kecepatan dilakukan dengan *full open throttle* menggunakan *chasis water brake dynamometer*. Pengujian dilakukan pada putaran *engine* dengan kelipatan 500 rpm, dimulai dari 3500 rpm sampai dengan 8500 rpm. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah frekuensi untuk generator dengan efisiensi thermal terbaik adalah pada 10Hz sebesar 20,06%. Dengan daya generator 118,74 Watt, debit 13,13 L/jam, kenaikan temperature 0.7°C/menit.

grafik hasil penelitian :



a. Laju temperatur vs Waktu



b. Grafik Debit Gas vs Waktu

**Gambar 2.12** Grafik Pengaruh Penggunaan Frekuensi Terhadap Performa Generator HHO

**Kesimpulan:**

Dari gambar 2.12 diatas dapat disimpulkan bahwa laju kenaikan temperatur terendah yaitu pada frekuensi listrik 25 Hz. Namun pada frekuensi tersebut produksi gas HHO tidak mengalami penurunan, sehingga bisa dikatakan frekuensi tersebut merupakan harga frekuensi yang optimal. Begitu juga pada frekuensi 100 dan 175 Hz, harga kenaikan temperatur relative rendah bila dibandingkan dengan produksi gas HHO yang dihasilkan.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

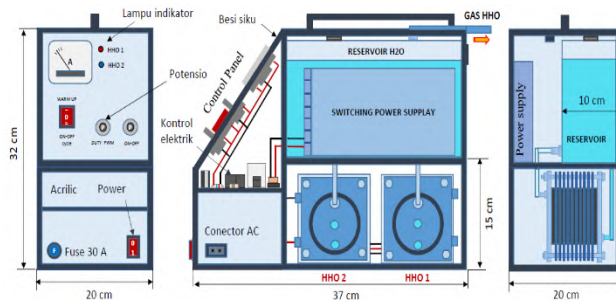
### 3.1 Sistematika Penelitian

Penelitian mengenai “Rancang Bangun dan Uji Performa Generator HHO Ganda Tipe Kering (*Dry type*) dengan Penambahan Siklus *ON-OFF* Otomatis Untuk Meningkatkan Lama Waktu Pengoperasian”, dilakukan melalui beberapa tahapan, meliputi:

- Tahap pertama adalah studi literatur dari berbagai sumber meliputi: Tugas Akhir, *paper*, *teks book* dan materi-materi dari internet yang berkaitan dengan topik yang akan diteliti.
- Tahap kedua adalah *Design* dan pembuatan alat, meliputi perancangan generator HHO dan perancangan sistem kontrol kelistrikan.
- Tahap ketiga adalah pengujian, yang terdiri dari pengujian rangkaian sistem kontrol kelistrikan dan pengujian komponen generator HHO.
- Tahap keempat adalah pengujian dan pengambilan data unjuk kerja Generator HHO secara keseluruhan.
- Tahap terakhir adalah analisis data dan kesimpulan

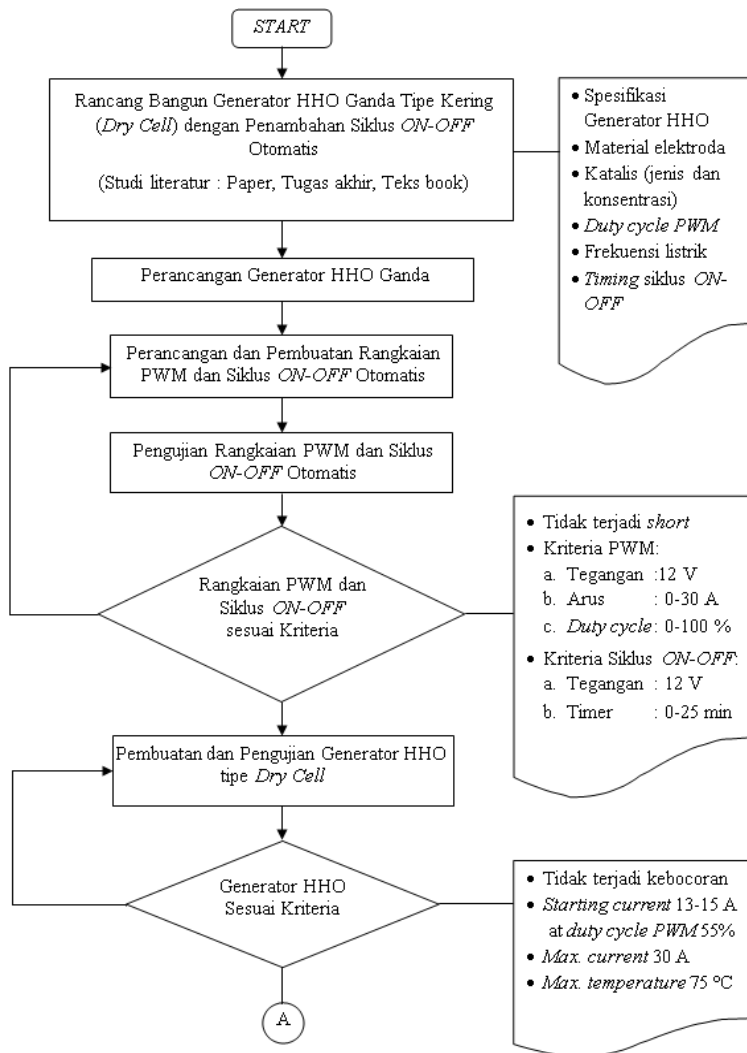
#### 3.1.1 *Design* Generator HHO Ganda

Adapun *design* keseluruhan dari generator HHO yang akan dibuat adalah seperti pada gambar berikut ini:

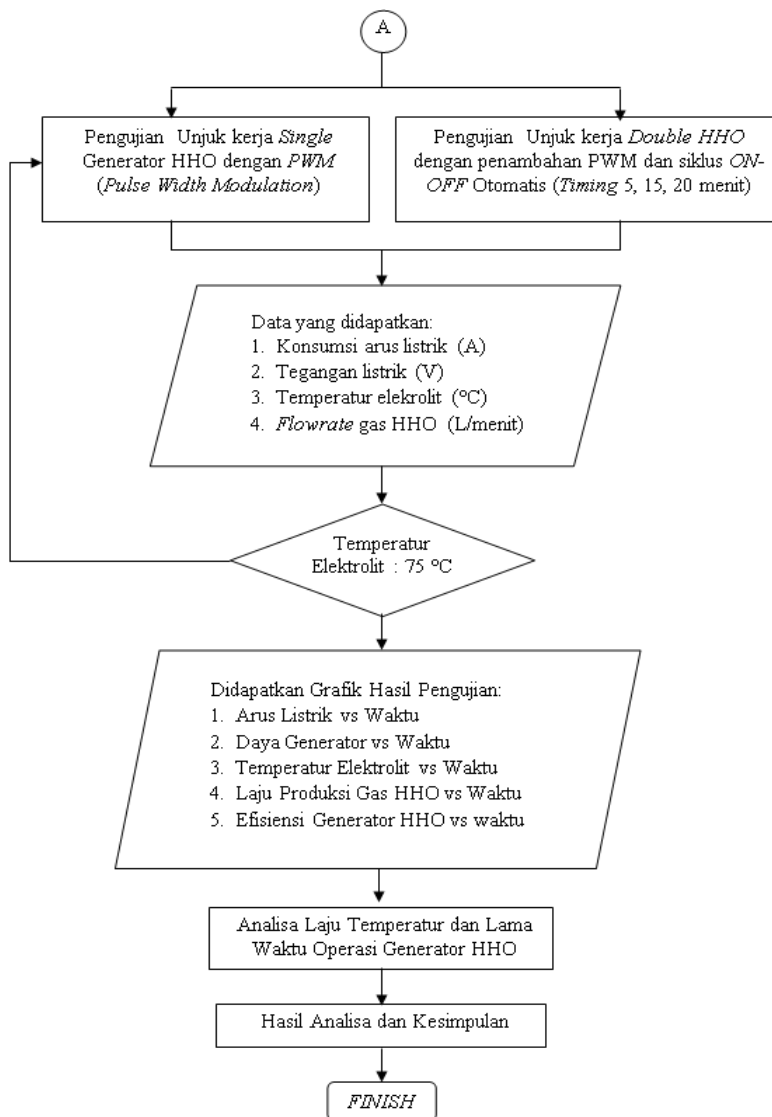


**Gambar 3.1** *Design* Generator HHO Ganda

### 3.1.2 Flowchart Penelitian



**Gambar 3.2** Flowchart Sistematika Penelitian



**Gambar 3.3** Flowchart Sistematika Penelitian (lanjutan)



### 3.1.3 Parameter Pokok Studi Literatur

Pada sub bab ini akan dijelaskan beberapa parameter-parameter pokok yang digunakan dalam penelitian ini yang didasarkan pada hasil penelitian sebelumnya, diantaranya:

#### 3.1.3.1 Spesifikasi Generator HHO

Spesifikasi generator HHO yang digunakan dalam penelitian ini :

- ❖ Tipe kering (*dry cell*) (*berdasarkan penelelitian saudara Wardiyanto, FTI-ITS, 2013*) : Dimana pada *wet type* dengan 50% PWM 1 kHz kenaikan temperatur selama 1 jam: 30-60 °C sedangkan pada *dry type* kenaikan temperatur selama 1 jam: 30-50 °C (selisih 33.33%)
- ❖ Dimensi 130 x 110 mm (*berdasarkan penelelitian s saudara Yahya A. K., FTI-ITS, 2013*).

#### 3.1.3.2 Elektroda (katoda-anoda)

Plat *Stainless Steel* (*Penelitian Irfana, Jumiaty, Joko Sampurno, Isana S.Y.L*): Sebagian besar penelitian elektrolisis *H<sub>2</sub>O* ini menggunakan elektroda *stainless steel*.

#### 3.1.3.3 Katalis (elektrolit)

Spesifikasi katalis yang digunakan dalam penelitian ini:

- ❖ Larutan *Aquades (Aq)* dan Kalium Hidroksida (*KOH*) (*Isana S.Y.L, FMIPA-UNY, 2010*): Dimana larutan *aquades (Aq)* ini mempunyai harga kenaikan temperatur paling rendah.
- ❖ Konsentrasi 10-12g/L *H<sub>2</sub>O* (*berdasarkan penelitian saudara Suprastowo, FTI-ITS, 2009*): Dimana pada penambahan katalis 10 - 12 g/L mencapai harga efisiensi maksimal yaitu 8.5-9.4% dan diatas 12g/L grafik efisiensi menunjukkan tren menurun.

#### 3.1.3.4 Frekuensi dan *Duty cycle PWM*

Spesifikasi PWM (*Pulse Width Modulation*) yang digunakan dalam penelitian ini:

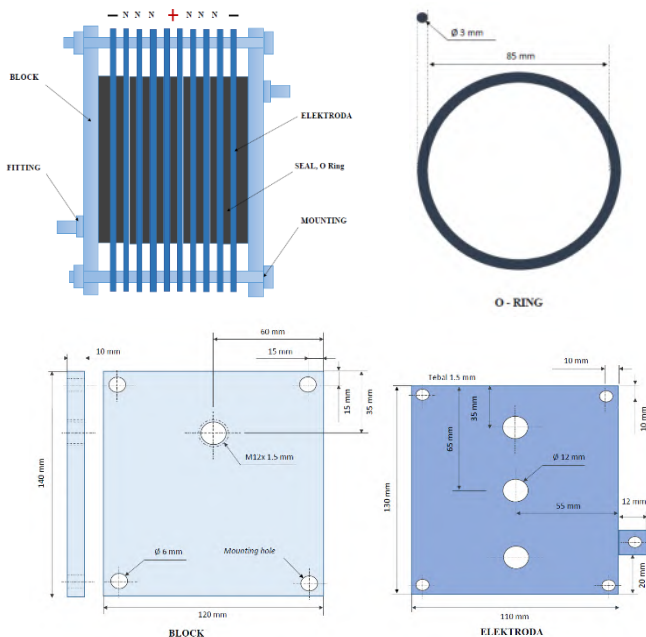
- ❖ *Duty Cycle PWM* 50-60% (*berdasarkan penelitian saudara Ratih Novi A., FTI-ITS, 2012*): Dimana efisiensi dan laju

produksi tertinggi tercapai 21% dan  $1.745 \times 10^{-6}$  kg/s pada 55% *duty cycle PWM*.

- ❖ Frekuensi listrik 25-30 Hz (*berdasar penelitian saudara Rizky Akbar P., FTI-ITS, 2013*): Dimana pada frekuensi listrik 25 Hz mengalami penurunan dan mempunyai harga kenaikan temperatur paling rendah yaitu: 0.6 °C/menit, namun produksi gas HHO tetap menunjukkan grafik naik yaitu pada 17 liter/ jam.

### 3.1.4 Design Komponen Generator HHO

#### 3.1.4.1 Design HHO Cell



#### **Elektroda:**

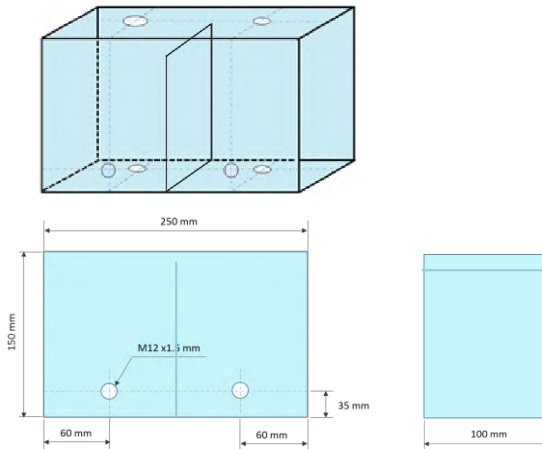
Material : SS AISI 304  
 Jumlah : 10 plat/ Cell  
 Temp. leleh : 1500 °C

#### **O-Ring:**

Material : Nitrile  
 Jumlah : 11/HHO Cell  
 Temp. range : -34 -121 °C

**Gambar 3.4** Dimensi HHO Cell

### 3.1.4.2 Design Reservoir H<sub>2</sub>O



#### Reservoir:

Material	: Acrilic	Ukuran	: 250x100x150 mm
Jumlah	: 1 (box)	Tebal	: 6 mm
Temp. leleh	: 140 °C	Perekat	: <i>Silicon Gel</i>

**Gambar 3.5** Dimensi *Reservoir H<sub>2</sub>O*

### 3.1.4.3 Saluran *Electrolit* dan Gas HHO



#### Fitting:

Material	: <i>Brass, fluororesins</i>
Jumlah	: Adapter (2), elbow (9)
Temp. Leleh	: 1030 °C, 250 °C

#### Hose (selang)

Material	: <i>Polyuretane</i>
Ukuran	: Ø 8mm, 10mm
Temp. range	: -27 – 300 °C

**Gambar 3.6** *Fitting* dan Selang Saluran Elektrolit dan Gas

### 3.1.5 Temperatur Maksimal Elektrolit Generator HHO

Dengan memepertimbangkan adanya temperatur penguapan  $H_2O$  pada suhu  $\pm 100$  °C dan terjadinya awal pendidihan pada temperatur  $< 100$  °C. Dari penelitian sebelumnya yang sebagian besar mengambil temperatur 70 °C dan berdasarkan target operasi serta spesifikasi material komponen generator HHO seperti penjelasan diatas maka dalam penelitian ini temperatur maksimal dibatasi pada 75 °C.

### 3.1.6 Lama Waktu Siklus ON-OFF Generator HHO

Dalam pemilihan berapa lama waktu siklus *ON-OFF* yang akan digunakan, ada beberapa pertimbangan yang penulis gunakan. Pertama mengacu ke hasil penelitian sebelumnya bahwa untuk Generator HHO dengan 50% *duty cycle*, frekuensi 25 Hz dan range kerja sekitar 15A maka jika dirata-ratakan kenaikan temperaturnya sekitar 0.7 °C/ menit. Kedua mengacu ke spesifikasi alat dan komponen elektronik yang digunakan, dimana mampu untuk range *timmer* 1-24 menit, maka dalam penelitian ini akan digunakan lama siklus *ON-OFF* 15 menit atau sekitar 10,5 °C kenaikan temperatur. Dengan lama waktu siklus *OFF* 15 menit diharapkan *HHO Cell* mempunyai cukup waktu untuk melakukan proses pendinginan normal ke lingkungan. Namun, jika diasumsikan bahwa laju kenaikan temperatur dan pendinginan adalah linear, maka lama waktu siklus *ON-OFF* tidak akan memberikan dampak yang signifikan terhadap laju kenaikan temperatur. Untuk membuktikan hal tersebut maka dalam penelitian ini akan coba dibandingkan dengan waktu siklus *ON-OFF* selama 5 menit dan 20 menit.

## 3.2 Peralatan Penelitian

Adapun peralatan-peralatan yang digunakan dalam penelitian ini, baik peralatan utama maupun peralatan bantu meliputi:

### 1. Generator HHO

Merupakan generator HHO yang sudah dirancang dalam penelitian ini, yang dilengkapi dengan sistem *PWM (Pulse*

*Width Modulation*), *Warm up cycle* dan *Timer ON-OFF* generator HHO

2. Timbangan  
Digunakan untuk menimbang massa bubuk KOH yang akan dilarutkan ke dalam air ( $H_2O$ ) sebesar 10-12 gram/Liter.
3. Avometer  
Digunakan untuk mengukur hambatan, arus listrik dan tegangan saat pengujian unjuk kerja alat maupun pada saat membuat rangkaian listrik yakni rangkaian *PWM (Pulse Width Modulation)* dan rangkaian siklus *ON-OFF* generator HHO.
4. *Stopwatch*  
Digunakan untuk mengukur interval waktu pada pengujian rangkaian siklus *ON-OFF* generator HHO dan interval waktu pada proses pengujian unjuk kerja generator HHO.
5. *Amperemeter*  
Digunakan dan dipasang pada alat untuk menunjukkan seberapa besar arus listrik yang dikonsumsi dan sebagai indikator apabila terjadi *over current*.
6. Thermometer  
Digunakan untuk mengukur temperatur elektrolit pada saat pengujian generator HHO
7. *Flowmeter*  
Digunakan untuk mengukur produksi (*flowrate*) gas HHO hasil proses elektrolisa air dari generator HHO yang sudah dirancang.
8. Gelas Ukur  
Digunakan untuk menakar jumlah air ( $H_2O$ ) pada saat pelarutan bubuk KOH untuk mendapatkan perbandingan 10-12 gram/ Liter
9. Solder  
Digunakan pada saat pembuatan rangkaian *PWM (Pulse Width Modulation)* dan rangkaian *Timer ON-OFF* generator HHO.

## 10. Osiloscope

Digunakan pada saat pengukuran (*display*) frekuensi dan *duty cycle PWM*

### 3.3 Pengujian Sistem Elektrik

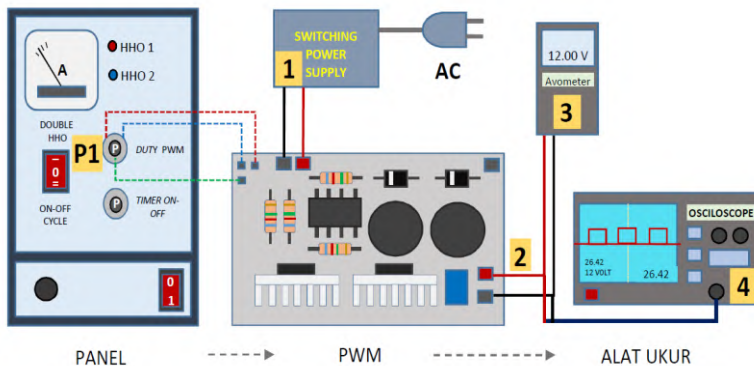
Pada sub bab ini akan dijelaskan terkait pengujian rangkaian PWM (*Pulse Width Modulation*) dan *timer ON-OFF* generator HHO sebagai berikut:

#### 3.3.1 Pengujian Rangkaian PWM (*Pulse Width Modulation*)

Pengujian ini mempunyai beberapa tujuan, yang pertama adalah untuk mengetahui keluaran *duty cycle PWM* dengan cara mengukur keluaran tegangan rata-rata (sesuai rumus *duty cycle PWM*-bab 2). Kedua membandingkan antara hasil perhitungan dengan *output* aktual dan yang terakhir sebagai acuan pemberian skala (*marking*) keluaran *PWM* pada panel alat untuk mempermudah proses pengoperasian generator HHO. Adapun proses pengujian rangkaian *PWM* (*Pulse Width Modulation*) meliputi:

##### 3.3.1.1 Skema Pengujian

Adapun skema pengujian rangkaian *PWM* (*Pulse Width Modulation*) adalah seperti gambar berikut ini:



**Gambar 3.7** Skema Pengujian Rangkaian *PWM*

### 3.3.1.2 Peralatan Pengujian

Peralatan yang digunakan dalam pengujian *PWM (Pulse Width Modulation)* meliputi:

- a. Avometer
- b. *Osilloscope*
- c. Kabel tunggal diameter 1.5 mm (merah, hitam)
- d. Obeng (*screw driver*)

### 3.3.1.3 Tahapan Pengujian

Tahapan dalam pengujian rangkaian *PWM (Pulse Width Modulation)* adalah sebagai berikut:

- a. Persiapkan alat sesuai kebutuhan dan pastikan peralatan bekerja dengan baik
- b. Sambungkan Rangkaian *PWM* ke *Switching Power Supply* (1) dan pasang Avometer (3).
- c. Sambungkan *Switching Power Supply* ke sumber listrik AC 220-230 Volt.
- d. Cek berapa keluaran tegangan (Volt) dari *Switching Power Supply* (standart: 12V)
- e. Sambung kabel dari IC NE555 pin 7 ke potensio (P1) yang ada di panel (untuk mempermudah instalasi sambungkan terlebih dahulu pin 7 IC NE555 tersebut ke terminal blok) (Lihat gambar 3.8)
- f. Sambungkan kaki potensio yang lain ke terminal blok (*power* dan *trigger*) (lihat detail gambar 2.5)
- g. Putar Potensio P1 (pengatur *duty cycle PWM*) *full CW*, kemudian ukur berapa hambatan (Ohm) dan output keluaran *PWM* (tegangan rata-rata) (Volt) dengan Avometer (3).  
(Standart pengukuran pin 7, Hambatan (R) = 100 K $\Omega$ , Tegangan : 12 V), sebagai *duty cycle PWM* 100 %.
- h. Putar Potensio P1 (pengatur *duty cycle PWM*) *full CCW*, kemudian ukur berapa hambatan (Ohm) dan output keluaran *PWM* (tegangan rata-rata) (Volt) dengan Avometer.  
(Standart pengukuran pin 7, Hamatan (R) =0 K $\Omega$ , Tegangan : 0 V), sebagai *duty cycle PWM* 0 %.

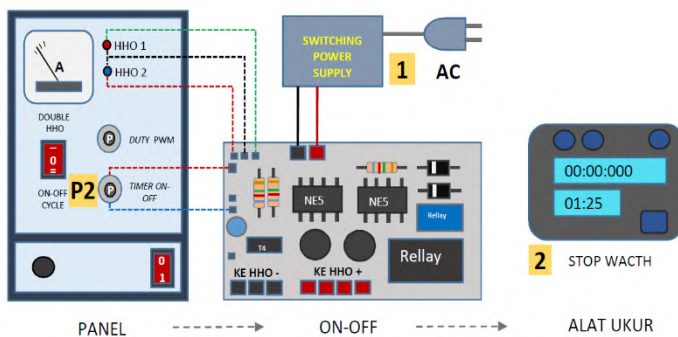
- i. Pasang *osiloscope* (4) pada output *PWM* (2), kemudian hidupkan *osiloscope* (gunakan mode *AUTO*).
- j. Putar Potensio P1 *CW* dan seting tegangan *output* sebesar 1.2 V kemudian cek bentuk dan lebar sinyal *PWM* pada *osiloscope*, beri tanda (*marking*) sebagai *duty cycle PWM* 10 %, kemudian tegangan 2.4 V sebagai *duty cycle PWM* 20 %, begitu seterusnya. Setiap penambahan *voltage output* 1,2 Volt maka *duty cycle PWM* berubah 10%.
- k. Beri tanda (*marking*) pada panel setiap kenaikan 10% *duty cycle PWM* untuk mempermudah proses pengoperasian alat, apabila dibutuhkan variasi *duty cycle PWM*.
- l. Pastikan semua proses sudah dilakukan dengan baik dan benar
- m. *Switch OFF osiloscope* dan avometer.
- n. Kemudian cabut power AC yang menuju *switching power supply*
- o. Bersihkan dan rapihkan kembali peralatan yang digunakan.

### 3.3.2 Pengujian *Timer ON-OFF* Generator HHO

Pada sub bab ini akan dijelaskan terkait pengujian rangkaian *timer* sistem *ON-OFF* generator HHO meliputi:

#### 3.3.2.1 Skema Pengujian

Adapun skema pengujian rangkaian *timer ON-OFF* generator HHO adalah seperti gambar berikut ini:



**Gambar 3.8** Skema Pengujian *Timer ON-OFF* generator HHO



### 3.3.2.2 Peralatan Pengujian

Peralatan yang digunakan dalam pengujian rangkaian *Timer ON-OFF*, meliputi:

- a. Avometer
- b. Stopwatch
- c. Kabel (merah, hitam)
- d. Obeng (*screw driver*)
- e. Lampu indicator (LED)

### 3.3.2.3 Tahapan Pengujian

Adapun tahapan dalam pengujian rangkaian *Timer ON-OFF* sebagai berikut:

- a. Siapkan alat sesuai kebutuhan dan pastikan peralatan bekerja dengan baik
- b. Sambungkan Rangkaian *timer ON-OFF* ke *Swiching Power Supply* (1)
- c. Sambungkan *Swiching Power Supply* ke sumber listrik AC 220-230 Volt.
- d. Cek berapa keluaran tegangan (Volt) dari *Swiching Power Supply* (standart: 12V).
- e. Pasang kabel dari output (kutub *NO-NC rellay*) ke lampu displai (*LED*) (3) yang ada di panel sebagai indikator HHO 1 dan HHO 2. (gambar 3.9)
- f. Pasang kabel dari IC NE555 pin 7 dan 6 ke potensio (P2) yang ada di panel.
- g. Pasang kaki potensio yang lainnya ke terminal blok power (lihat detail gambar 2.7)
- h. Hitung hambatan Potensio stereo (P2) yang dibutuhkan untuk *timing ON-OFF* yang diperlukan sebesar 5 menit dan 15 menit. Dengan rumus menggunakan  $t = 1,1 R \cdot C$ , maka akan di dapat harga “R” untuk masing-masing harga “t” yang berbeda. Dimana “C” adalah kapasitansi kapasitor sebesar 14100  $\mu\text{F}$ .
- i. Kemudian putar Potensio (P2) CW, ukur dan paskan harga resistansinya sesuai hasil perhitungan “t :5 menit”, kemudian

tekan switch ON dan hitung berapa lama lampu indikator menyala. Jika belum sesuai target putar kembali sampai didapatkan  $t : 5$  menit kemudian diberi tanda (*marking*) pada alat untuk mempermudah pengoperasian.

- j. Lakukan seperti langkah “g sampai i” untuk *setting* waktu 15 dan 20 menit.
- k. Jika semua seting waktu sudah disesuaikan dan di *marking*, kemudian matikan peralatan.
- l. Bersihkan dan rapihkan kembali peralatan yang digunakan.

### 3.4 Pengujian Unjuk Kerja Generator HHO

Pengujian unjuk kerja generator HHO yang akan dilakukan terdiri dari dua tahapan utama yang akan dibandingkan dan dikaji hasilnya, meliputi:

1. Pengujian unjuk kerja *single* generator HHO dengan *PWM (Pulse Width Modulation)*
2. Pengujian unjuk kerja generator HHO ganda dengan *PWM* dan Siklus *ON-OFF* otomatis

Adapun data yang harus didapatkan untuk masing-masing tahapan pengujian meliputi:

1. Konsumsi arus listrik (A)
2. Tegangan listrik (V)
3. Daya listrik (W)
4. Temperatur elektrolit generator HHO (°C)
5. Produksi (*flowrate*) gas HHO (L/min)

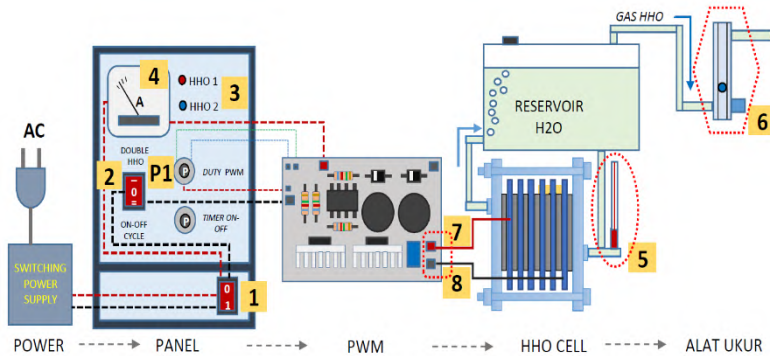
*Note:* Data diambil dengan interval waktu 5 menit

#### 3.4.1 Pengujian Unjuk Kerja *Single* Generator HHO dengan Penambahan *PWM (Pulse Width Modulation)*

##### 3.4.1.1 Skema Pengujian

Pada pengujian dengan *PWM (Pulse Width Modulation)* pada *single* generator HHO ini yaitu dengan menyambungkan keluaran *PWM* (positif dan negatif) langsung ke *HHO cell* tanpa

melalui rangkaian *timer ON-OFF* . Untuk memperjelas seperti apa proses pengujian ini dapat disederhanakan menjadi seperti skema sebagai berikut:



*Check point:*

Arus : Point 4 Voltase : Point 7,8 Temperatur : Point 5 Flowrate : Point 6

**Gambar 3.9** Skema pengujian *Single* generator HHO dengan *PWM (Pulse Width Modulation)*

### 3.4.1.2 Tahapan Pengujian

Adapun tahapan pengujian unjuk kerja HHO dengan *PWM (Pulse Width Modulation)* seperti ditunjuk pada skema diatas, adalah sebagai berikut:

1. Persiapkan peralatan dan generator HHO dan pastikan tidak ada kebocoran elektrolit, kabel yang terlepas atau short dan kondisi tidak *abnormal* lainnya.
2. Buat instalasi generator HHO seperti pada skema diatas (dari Rangkaian *PWM* langsung ke *HHO cell* tanpa melalui rangkaian *timer ON-OFF*)
3. Kemudian pasang *thermometer* (5) dan *flowmeter* (6)
4. Seting *duty cycle PWM* ke 55% pada Potensio (P1)
5. Kemudian tekan *Switch ON* (1) dan pastikan salah satu lampu indikator HHO (3) menyala.
6. Kemudian catat temperatur, arus dan tegangan listrik awal serta ukur *flowrate* gas HHO. Cek besar arus listrik pada

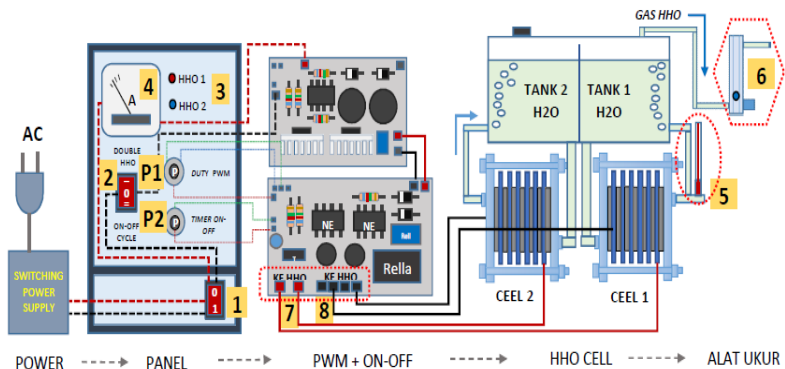
- Ampermeter (4), temperatur pada *thermometer* (5) dan *flowrate* gas HHO pada *flowmeter* (6).
7. Untuk pengukuran tegangan, dengan menggunakan avometer pada terminal positif dan negatif *HHO Cell* (7,8).
  8. Lakukan pencatatan data seperti point 6 dan 7 setiap interval 5 menit pada *sheet* yang tersedia..
  9. Lakukan pencatatan data sampai temperatur elektrolit maksimal (dalam praktikum ini dibatasi 75 °C).
  10. Matikan alat, kemudian bersihkan dan rapihkan kembali peralatan yang digunakan.

### 3.4.2 Pengujian Unjuk Kerja Generator HHO Ganda dengan siklus *ON-OFF* Otomatis

Dalam pengujian ini akan dikombinasikan *double* generator HHO dengan penambahan *duty cycle PWM* dan variasi siklus *ON-OFF* otomatis dengan lama waktu siklus 5 menit, 15 menit dan 20 menit. Generator HHO 1 dan HHO 2 bekerja sendiri-sendiri (*independent*).

#### 3.4.2.1 Skema Pengujian

Skema pengujian unjuk kerja generator HHO ganda adalah seperti pada gambar sebagai berikut:



**Gambar 3.10** Skema Pengujian *double HHO* dengan penambahan PWM dan variasi waktu siklus *ON-OFF*

### 3.4.2.2 Tahapan Pengujian

Tahapan pengujian unjuk kerja generator HHO dengan penambahan *duty cycle PWM* dan variasi lama waktu siklus *ON-OFF* otomatis adalah sebagai berikut:

1. Persiapkan peralatan dan generator HHO dan pastikan tidak ada kebocoran elektrolit, kabel yang terlepas atau short dan kondisi tidak *abnormal* lainnya.
2. Buat instalasi generator HHO seperti pada skema diatas (rangkaiannya PWM dan rangkaian *timer ON-OFF*)
3. Pasang *thermometer* (5) dan *flowmeter* (6) seperti yang ditunjuk skema diatas
4. Kemudian tekan *switch* (2) pada panel ke mode “*ON-OFF cycle*”.
5. Posisikan Potensio (P1) pada *duty cycle PWM* 55% dan (P2) pada posisi *timing ON-OFF* 5 menit.
6. Tekan switch ON (1), kemudian cek besar arus listrik pada Ampermeter (4), temperatur pada *thermometer* (5) dan *flowrate* gas HHO pada *flowmeter* (6). Dan untuk pengukuran tegangan, dengan menggunakan avometer pada terminal positif dan negatif *HHO Cell* (7,8)
7. Ambil data-data seperti point 6 setiap interval 5 menit, sampai temperatur maksimal, dalam penelitian ini dibatasi sebesar 75 °C. Catat data-data pada *sheet* yang tersedia
8. Lakukan langkah 4 sampai 7 untuk pengujian dengan *timing ON-OFF* setiap 15 menit dan 20 menit.
9. Matikan alat dengan menekan *switch OFF* (1)
10. Kemudian bersihkan dan rapihkan kembali peralatan yang digunakan.

Grafik yang akan diperoleh adalah grafik Arus fungsi waktu, grafik daya fungsi waktu, grafik temperatur fungsi waktu dan grafik *flowrate* gas HHO fungsi waktu serta grafik efisiensi fungsi waktu dari masing masing metode pengujian. Point penting yang akan diambil adalah bagaimana karakteristik laju kenaikan temperatur dan lama waktu pengoperasian generator HHO yang nantinya akan ditarik menjadi kesimpulan penelitian.

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Perhitungan

#### 4.1.1 Daya yang Dibutuhkan Generator Gas HHO

Data untuk perhitungan daya merupakan data rata-rata untuk pengujian *single HHO* selama 2 jam operasi, dimana pengukuran dilakukan setiap lima menit sebagai berikut:

Voltase	: 12 Volt
Arus listrik	: 15.5 Amper
Flowrate gas HHO	: 0.22 Liter/menit

Daya generator HHO selama 2 jam operasi dapat dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned} P &= V \times I \times t \\ &= 12 \text{ Volt} \times 15.5 \text{ Amper} \times 7200 \text{ detik} \\ &= 1339.2 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Jadi, daya generator HHO untuk menghasilkan 0.22 Liter/ menit adalah 156 Watt.

#### 4.1.2 Laju Produksi Gas HHO

Laju produksi gas HHO dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

Debit (Q)	: 0.22 Liter/menit
Masa jenis ( $\rho$ HHO)	: 0.491167 gr/liter ( <i>sub bab 2.7.2</i> )
Temperatur Ambient	: 30 °C (303 K)

Laju produksi (flowrate) gas HHO dapat dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{HHO} &= Q \times \rho \\ &= 0.22 \text{ Liter/menit} \times 0.491167 \text{ gr/liter} \\ &= 0.108 \text{ gr/menit} \end{aligned}$$

Jadi laju produksi (*flowrate*) gas HHO adalah 0.108 gr/ menit.

### 4.1.3 Efisiensi Generator HHO

Data perhitungan energi masuk (*input*) dan energi keluar (*output*) generator HHO merupakan data rata-rata untuk pengujian *single HHO* selama 2 jam operasi sebagai berikut:

Voltase	: 12 Volt
Arus listrik	: 15.5 Amper
Volume gas/ detik ( $\dot{V}$ )	: 0.22 Liter/menit
Tekanan gas ideal (P)	: 1 atm
Konstanta gas ideal ( $\bar{R}$ )	: 8.314472 Joule/mol.K

Efisiensi generator HHO dapat di hitung dengan persamaan:

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

$$= \frac{\Delta h_f \cdot \dot{n} \cdot t}{V \cdot I \cdot t} \times 100\%$$

Daya generator HHO selama 2 jam operasi dapat dihitung dengan persamaan:

$$P = V \times I \times t$$

$$= 12 \text{ Volt} \times 15.5 \text{ Amper} \times 7200 \text{ detik}$$

$$= 1339.2 \text{ kJ}$$

Molaritas senyawa persatuan waktu dapat dihitung :

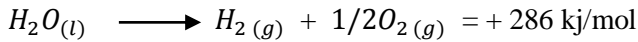
$$P\dot{V} = \dot{n} \cdot \bar{R} \cdot T$$

$$\dot{n} = \frac{P \cdot \dot{V}}{\bar{R} \cdot T}$$

$$= \frac{1 \text{ atm} \cdot 0.0037 \text{ L/s}}{8.314472 \frac{\text{J}}{\text{mol}} \cdot \text{K} \cdot 303 \text{ K}}$$

$$= 1.483 \times 10^{-4} \text{ mol/s}$$

Dari reaksi penguraian air :



Maka perbandingan energi yang diberikan dan yang digunakan selama 2 jam operasi dapat dihitung sebagai berikut:

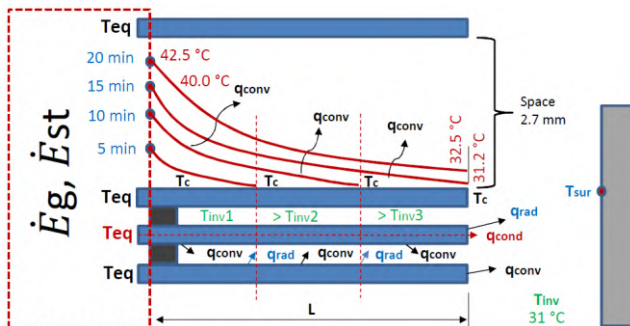
$$\begin{aligned} \text{Rasio (R)} &= \frac{\Delta h_f \cdot \dot{n} \cdot t}{V \cdot I \cdot t} \\ &= V \cdot I \cdot t \text{ (input energy)} : \Delta h_f \cdot \dot{n} \cdot t \text{ (output energy)} \\ &= (12V \times 15.5 \text{ A} \times 7200 \text{ s}) : (286 \text{ kJ/mol} \times 1.483 \times \\ &\quad 10^{-4} \text{ mol/s} \times 7200 \text{ s}) \\ &= 1339 \text{ kJ} : 305.34 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Jadi perbandingan energi yang berguna dibanding energi yang diberikan selama 2 jam operasi adalah 1 : 4.38 (23%).

Untuk *double HHO* dengan arus rata-rata 16.4 A dan flowrate 0.23 L/menit lama waktu operasi 10 jam perbandingan energi yang berguna dibanding energi yang diberikan adalah 1582.3kJ : 7084.8 kJ atau 1: 4.47 (22.3 %).

#### 4.1.4 Laju Temperatur Elektrolit Generator HHO

Adapun ilustrasi transfer panas pada *HHO dry cell* dapat dijelaskan seperti gambar 4.1 sebagai berikut:



**Gambar 4.1** Karakteristik Perpindahan Panas pada *HHO Cell*



Sebelum melakukan perhitungan laju temperatur elektrolit menggunakan rumus-rumus yang telah dijelaskan di sub bab 2.7.4, perlu dilakukan pengukuran temperatur elektrolit dan elektroda untuk mengetahui karakteristik perpindahan panas dari *HHO cell* yang sudah dibuat. Dari gambar 4.1 didapat bahwa perbedaan antara temperatur akibat adanya *energy generation* ( $T_{eg}$ ) dengan temperatur ujung elektroda ( $T_c$ ) adalah sebesar 9°C. Perbedaan temperatur tersebut yang akan digunakan untuk menghitung laju konduksi. Perbedaan antara rata-rata temperatur elektroda ( $T_{cr}$ ) dengan temperatur lingkungan ( $T_{inv}$ ) digunakan untuk menghitung laju konveksi, sedangkan perbedaan rata-rata temperatur elektroda ( $T_{cr}$ ) dengan temperatur *surface* ( $T_{sur}$ ) digunakan untuk menghitung laju radiasi. Dari data seperti diatas dan data properties serta konstanta pada sub bab 2.7.4, maka laju temperatur elektrolit dapat dihitung melalui tahapan sebagai berikut:

#### 4.1.4.1 *Energy Generation* ( $\dot{E}_g$ )

*Energy generation* merupakan energi bangkitan karena adanya aliran listrik melalui suatu media, yang dikonversi menjadi energi panas.

$$\begin{aligned}\dot{E}_g &= I^2 \cdot R_{tot} \cdot L \\ &= 15.5^2 \times 11.25 \Omega/m \times 0.04 \text{ m} \\ &= 108.11 \text{ Watt}\end{aligned}$$

#### 4.1.4.2 *Energi Keluar* ( $\dot{E}_{out}$ )

Energi keluar merupakan energi panas yang ditransfer ke lingkungan, secara konduksi ( $Q_{cond}$ ), konveksi ( $Q_{conv}$ ) dan radiasi ( $Q_{rad}$ ).

##### a. **Konduksi**

Untuk mempermudah proses perhitungan maka diasumsikan bahwa permukaan elektroda berbentuk lingkaran agar didapat harga “r1” dan “r2”. Dimana r1 adalah radius permukaan elektrolisis dan r2 radius elektroda dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Luas total elektroda (} A_{tot} \text{)} &= \pi \cdot r^2 \\
 0.0143 \text{ m}^2 &= 3.14 \times r^2 \\
 r &= \sqrt{0.0143/3.14} \\
 &= 67.48 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Perpindahan panas konduksi dapat dihitung:

$$\begin{aligned}
 Q_{cond} &= \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k (T_{eq} - T_c)}{\ln(r_2/r_1)} \\
 &= \frac{2 \times 3.14 \times 0.015 \text{ m} \times 14.9 \text{ W/m} \cdot \text{K} (313 - 304)}{\ln(0.067/0.043)} \\
 &= \frac{12.632 \text{ W}}{\ln(0.067/0.043)} \\
 &= 28.48 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

### b. Konveksi

Karena laju temperatur yang akan dihitung adalah laju temperatur rata-rata, maka perbedaan antara ( $T_{cr}$ ) dan ( $T_{inv}$ ) adalah sebesar 9 °C. Didapat dari  $(49^\circ\text{C} + 31^\circ\text{C})/2 = 40^\circ\text{C}$ , kemudian  $40^\circ\text{C} - 31^\circ\text{C} = 9^\circ\text{C}$ , dimana 49 adalah temperatur elektrolit saat rata-rata laju temperatur terjadi dan 40 adalah  $T_c$  serta 31 adalah  $T_{inv}$ . Bila luas pendinginan =  $20 \cdot (A_c)$ , dimana 20 adalah jumlah permukaan, maka laju konveksi dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q_{conv} &= h \cdot A_c (T_{cr} - T_{inv}) \\
 &= 17 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \times 20 (8.494 \times 10^{-3} \text{ m}^2) (313-304)\text{K} \\
 &= 17 \times 0.169 \times 9 \\
 &= 25.97 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

### c. Radiasi

Kondisi rata-rata perpindahan panas radiasi sama dengan kondisi pada konveksi sehingga perpindahan panas radiasi dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q_{rad} &= \epsilon \cdot \sigma \cdot A_c (T_{cr}^4 - T_{sur}^4) \\
 &= 0.8 \times 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \times 20(8.494 \times 10^{-3} \text{ m}^2) \\
 &\quad (313^4 - 304^4) \text{ K}^4 \\
 &= 8.915 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

#### 4.1.4.3 Energy Storage ( $\dot{E}_{st}$ )

*Energy storage*, merupakan energi yang masih tersimpan yang menyebabkan kenaikan temperatur dalam sistem, yang dipengaruhi oleh *density*, kalor jenis dan volume material sebagai Berikut:

$$\begin{aligned}
 \dot{E}_{st} &= \frac{d}{dt} \rho \cdot c \cdot V \cdot T \\
 &= (\rho \cdot c \cdot V)SS + (\rho \cdot c \cdot V)H_2O \text{ cell} \\
 &= (7900 \times 477 \times (8.7 \times 10^{-5}) + (1000 \times 4179 \times (11.64 \times \\
 &\quad 1.41 \times 10^{-4})) \\
 &= 327.84 + 6858.74 \text{ (kg/m}^3 \times \text{J/kg} \cdot \text{K} \times \text{m}^3) \\
 &= 7186.58 \text{ J/K}
 \end{aligned}$$

#### 4.1.4.4 Laju Kenaikan Temperatur Elektrolit

Dari data- data perhitungan diatas maka laju kenaikan temperatur dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.12 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \frac{dT}{dt} &= \frac{j^2 \cdot R_{tot} \cdot L - \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k (T_{eq} - T_c)}{\ln(r_2/r_1)} - h \cdot A (T_c - T_{inv}) - \epsilon \cdot \sigma \cdot A (T_c^4 - T_{inv}^4)}{\rho \cdot c \cdot V} \\
 \frac{dT}{dt} &= \frac{108.11 \text{ j/s} - 28.48 \text{ j/s} - 25.97 \text{ j/s} - 8.915 \text{ j/s}}{7186.58 \text{ j/K}} \\
 \frac{dT}{dt} &= 0.00622 \text{ }^\circ\text{C/s} \quad (0.37 \text{ }^\circ\text{C/menit})
 \end{aligned}$$

#### 4.1.4.5 Kenaikan Temperatur Elektrolit *Single* dan *Double HHO*

Kenaikan temperatur elektrolit pada *single* dan *double HHO* dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

##### a. Kenaikan Temperatur Elektrolit pada *Single HHO*

$$\begin{aligned}\Delta T_s(t) &= T_o + (dT/dt) \cdot t \\ &= 30 + (0.37 \text{ }^\circ\text{C/menit}) \times 120 \text{ menit} \\ &= 30 + 44.82 = 74.82 \text{ }^\circ\text{C}\end{aligned}$$

##### b. Kenaikan Temperatur Elektrolit pada *Double HHO*

Dengan adanya siklus *ON* dan *OFF* maka laju kenaikan temperatur elektrolit adalah setengah dari laju normal ( $dT/dt$ ). Selain itu pada saat siklus *OFF* juga akan terjadi penurunan sebesar  $n\%$  dari kenaikan temperatur saat siklus *ON* ( $1/2 dT/dt$ ). Dari situ maka laju kenaikan temperatur pada *double HHO* dapat dirumuskan menjadi:

$$\begin{aligned}\Delta T_d(t) &= T_o + 1/2(dT/dt) - n (1/2dT/dt) \times t \\ &= 30 + [1/2 (0.37 \text{ }^\circ\text{C/menit}) - 0.7(1/2 \times 0.37 \\ &\quad \text{ }^\circ\text{C/menit})] \times 600 \text{ menit} \\ &= 30 + 33.3 \\ &= 66.3 \text{ }^\circ\text{C}\end{aligned}$$

## 4.2 Pengujian Sistem Kontrol Elektrik

Pada sub bab ini akan dibahas terkait frekuensi listrik dan *duty cycle PWM (Pulse Width Modulation)* yang digunakan pada pengujian generator HHO ini. Akan diuji juga seberapa besar konsumsi listrik dari sistem kontrol elektrik itu sendiri. Frekuensi listrik dan *duty cycle* yang digunakan pada penelitian merupakan variabel yang diseting tetap yaitu pada frekuensi listrik 25-30 Hz

dan *duty cycle PWM* 55%. Untuk menghindari terjadinya kesalahan kesimpulan hasil penelitian terhadap data acuan, khususnya terkait frekuensi listrik dan *duty cycle PWM* yang digunakan, maka perlu dilakukan pengujian *PWM* dengan menggunakan *osiloscope*. Adapun hasil pengujian frekuensi dan *duty cycle PWM* adalah sebagai berikut:

#### 4.2.1 *Duty Cycle PWM*

Mengacu ke penelitian saudara Yahya A. Kurniawan (ITS-2013), *duty cycle PWM* ideal yang digunakan adalah sekitar 55 %. Oleh karena itu dalam penelitian ini *duty cycle PWM* yang digunakan yaitu sebesar 50-60 % sebagai berikut:



**Gambar 4.2** *Duty cycle PWM 55%*

*Duty cycle PWM* merupakan perbandingan besar atau lebar pulsa *ON* dan *OFF* yang dinyatakan dalam persen (%). Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Duty Cycle} = \frac{t_{ON}}{(t_{ON} + t_{OFF})} \times 100\%$$

$t_{ON}$  merupakan waktu terjadinya pulsa *ON* (*HIGH*) dimana listrik dialirkan dari sumber ke sistem, sedangkan  $t_{OFF}$  adalah waktu terjadinya siklus *OFF* (*LOW*) dimana aliran listrik menuju sistem diputus. *Duty cycle PWM* dapat diatur dari 0% sampai 100% *duty cycle*. Semakin besar *duty cycle* maka akan semakin besar pula voltase listrik yang diberikan yang nantinya akan berpengaruh terhadap jumlah arus listrik yang dapat dialirkan ke sistem.

Gambar diatas merupakan grafik 55% *duty cycle PWM*. Dapat dilihat juga melalui voltase output PWM rata-rata yang terukur yaitu sebesar 6.42 Volt, dimana angka mendekati nilai tengah voltase total 12 volt. Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan  $V_r = (55/100) \times 12$  Volt. *Duty cycle PWM* dapat diseting dari 0-100%, namun pada pengujian ini *duty cycle PWM* merupakan variabel yang diseting tetap yaitu pada 55% *duty cycle*. Dengan *duty cycle PWM* yang optimal maka artinya arus listrik yang digunakan adalah optimal sehingga hanya sedikit arus listrik yang diubah menjadi energi panas, menyebabkan laju kenaikan temperatur elektrolit generator HHO akan semakin menurun. Laju kenaikan temperatur yang rendah maka waktu operasi generator HHO akan semakin meningkat.

#### 4.2.2 Frekuensi Listrik

Mengacu ke penelitian saudara Rizky Akbar Pratama (ITS-2013), frekuensi listrik ideal yang digunakan adalah sekitar 25 Hz. Oleh karena itu dalam penelitan ini frekuensi listrik yang digunakan yaitu sebesar 25-30 Hz sebagai berikut:



**Gambar 4.3** Frekuensi Listrik pada *duty cycle PWM* 55%

Frekuensi listrik merupakan banyaknya sinyal atau gelombang listrik yang terjadi setiap satu detik. Satu gelombang listrik merupakan satu siklus *ON-OFF*, yaitu dari dimulainya siklus *ON* (*HIGH*) sampai berakhirnya siklus *OFF* (*LOW*). Besar kecilnya frekuensi listrik akan berpengaruh terhadap jumlah arus listrik yang akan dialirkan ke sistem. Pada proses elektrolisis air,

pemilihan frekuensi listrik akan berpengaruh terhadap laju kenaikan temperatur dan produksi gas yang dihasilkan.

Dari hasil pengujian diatas dapat dilihat bahwa frekuensi listrik dari hasil pengukuran dengan menggunakan *oscilloscope* adalah sebesar 26.40 Hz. Frekuensi yang terukur merupakan frekuensi listrik pada *duty cycle PWM 55%*. Frekuensi listrik diseting sebagai variabel tetap pada pengujian generator HHO ini. Dengan frekuensi listrik yang tepat maka hanya sebagian kecil arus listrik yang diubah menjadi energi panas sehingga laju kenaikan temperatur elektrolit generator HHO akan semakin menurun. Laju kenaikan temperatur yang rendah maka waktu operasi generator HHO akan semakin meningkat.

#### 4.2.3 Konsumsi Daya pada Sistem Kontrol Elektrik

Untuk memperoleh frekuensi listrik dan *duty cycle PWM* seperti dijelaskan diatas, tentunya membutuhkan rangkaian elektrik, dimana terdapat komponen-komponen elektrik. Komponen elektrik itu sendiri membutuhkan energi listrik agar dapat bekerja sebagaimana mestinya. Adapun hasil pengukuran sebagai berikut:



a. Arus saat *relay ON*

b. Arus saat *relay OFF*

**Gambar 4.4** Konsumsi Arus pada Sistem Kontrol Elektrik.

Gambar 4.4 (a) adalah konsumsi arus listrik sistem kontrol elektrik saat *switching relay* pada posisi “ON” yaitu sebesar 151.4 mA dan gambar 4.4 (b) adalah konsumsi arus listrik saat *switching relay* pada posisi “OFF” yaitu sebesar 9.2 mA.

Saat *switching relay ON* maka arus listrik akan terhubung ke kutub *NO relay*, dimana kutub *NO* tersebut dihubungkan dengan *HHO Cell 1*, maka HHO 1 akan aktif. Saat *switching relay OFF* maka arus listrik akan terhubung ke kutub *NC relay*, dimana kutub *NC* tersebut dihubungkan dengan *HHO Cell 2*, maka HHO 2 akan aktif. *Switching relay* akan terus *ON-OFF* selama alat bekerja dan waktu *ON* dan *OFF* disetting sama, sehingga konsumsi arus listrik rata-rata yang digunakan sistem kontrol elektrik adalah:

$$\begin{aligned} \text{Arus listrik rata-rata (Ir)} &= (I_{ON} + I_{OFF})/2 \\ &= (151.4 + 9.2)/2 \\ &= 80.3 \text{ mA} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan  $P : V \times I$  maka daya yang dibutuhkan sistem kontrol elektrik dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Konsumsi daya (P)} &= V \times I \\ &= 12 \text{ V} \times 0.08 \\ &= 0.96 \text{ Watt.} \end{aligned}$$

### 4.3 Analisa Data Generator HHO

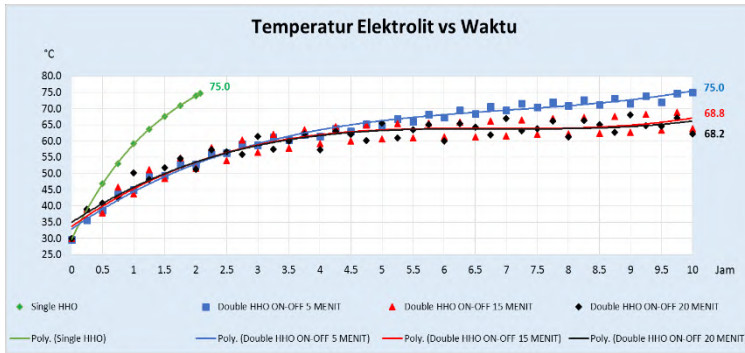
Pada sub bab ini akan dikaji mengenai grafik temperatur, arus, daya, laju produksi dan efisiensi generator HHO vs waktu. Dimana akan dibandingkan antara pengujian *single HHO* dan *double HHO* dengan siklus *ON-OFF* otomatis. Ada empat variasi pengujian yaitu *single HHO*, *Double HHO timing ON-OFF* setiap 5 menit, *Double HHO timing ON-OFF* setiap 15 menit dan *Double HHO timing ON-OFF* setiap 20 menit. Grafik yang didapat merupakan rata-rata dari 3 kali pengambilan data untuk masing-masing variasi pengujian.

#### 4.3.1 Grafik Temperatur Elektrolit vs Waktu

##### 4.3.1.1 Grafik Rata-rata Temperatur vs Waktu

Setelah dilakukan pengujian generator HHO, maka didapatkan grafik rata-rata temperatur vs waktu sebagai berikut:





**Gambar 4.5** Grafik Rata-rata Temperatur vs Waktu

Proses elektrolisis yang terjadi pada Generator HHO sangat dipengaruhi oleh jumlah arus listrik yang melewati cairan elektrolit. Tumbukan dan gesekan antar ion saat arus listrik mengalir dan terjadi terus menerus akan menyebabkan timbulnya panas pada elektrolit. Temperatur elektrolit yang semakin panas akan memberikan kemudahan dalam pergerakan ion-ion sehingga arus listrik yang mengalir akan semakin besar dan reaksi yang terjadi juga akan semakin cepat. Hal penting yang perlu diperhatikan adalah bagaimana menjaga temperatur elektrolit tetap dibawah temperatur didih sehingga generator HHO tidak menghasilkan uap air.

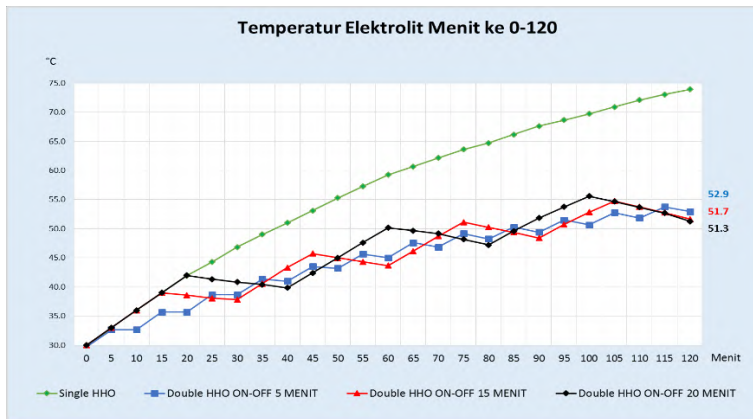
Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa dari empat variasi percobaan, temperatur elektrolit menunjukkan tren naik seiring dengan lama waktu pengoperasian. Grafik pertama (warna hijau) adalah kenaikan temperatur dari pengujian *single HHO* dengan *duty cycle PWM 55%* dan frekuensi listrik 26 Hz. Grafik tersebut memiliki laju kenaikan temperatur yang paling signifikan, dimana temperatur maksimum (75 °C) tercapai pada menit ke 125. Grafik temperatur menunjukkan kurva non linear, rata-rata laju kenaikan temperatur sebesar 0.37 °C/ menit. Grafik berikutnya adalah kenaikan temperatur dari pengujian *double HHO* dengan *PWM* dan siklus *ON-OFF* otomatis, dimana sistem ini adalah sistem yang coba dikembangkan dan dikaji pada penelitian ini. Grafik

kedua (warna biru) merupakan pengujian *double HHO* dengan *timing ON-OFF* setiap 5 menit, dimana dua Generator HHO bekerja saling bergantian. Grafik temperatur juga merupakan kurva non linear dengan laju kenaikan temperatur rata-rata sebesar  $0.10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ . Grafik ketiga (warna merah) merupakan pengujian *double HHO* dengan *timing ON-OFF* setiap 15 menit, dengan laju kenaikan temperatur rata-rata sebesar  $0.063\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ . Sedangkan grafik yang terakhir (warna hitam) merupakan pengujian *double HHO* dengan *timing ON-OFF* setiap 20 menit, dengan laju kenaikan temperatur rata-rata sebesar  $0.059\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ .

Dari hasil pengujian terbukti bahwa penambahan siklus *ON-OFF* dari dua generator HHO (*double HHO*) akan menurunkan laju kenaikan temperatur, karena akan terjadi proses pendinginan pada saat siklus *OFF*. Semakin kecil laju kenaikan temperatur berarti waktu operasi generator HHO akan semakin lama. Semakin besar *timing* siklus *ON-OFF*, maka laju kenaikan temperatur akan semakin kecil. Dapat dilihat pada siklus *ON-OFF* setiap 5 menit pada jam ke 10 temperatur mencapai  $75\text{ }^{\circ}\text{C}$  (tempetaur maksimum) . Sedangkan pada siklus *ON-OFF* setiap 15 menit pada jam ke 10 pada akhir siklus *ON* temperatur elektrolit baru mencapai  $68.8\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan pada siklus *ON-OFF* setiap 20 menit pada jam ke 10 baru mencapai temperatur  $68.2\text{ }^{\circ}\text{C}$  dari temperatur maksimum yang dibatasi sebesar  $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### 4.3.1.2 Grafik Detail Temperatur vs Waktu

Dari pengambilan data setiap lima menit sebanyak tiga kali percobaan bervariasi pengujian, didapat grafik detail rata-rata temperatur elektrolit fungsi waktu. Maka dapat dilihat bagaimana karakteristik kenaikan temperatur elektrolit pada *double HHO* dengan penambahan siklus *ON-OFF* otomatis. Grafik detail temperatur vs waktu dapat dilihat pada lampiran. Sebagai contoh berikut grafik temperatur elektrolit vs waktu menit ke 0 -120:



**Gambar 4.6** Grafik Detail Temperatur Menit ke 0-120

*Double HHO* dengan penambahan sistem *ON-OFF* otomatis merupakan sistem yang coba dikembangkan pada penelitian ini. Sistem tersebut dimaksudkan agar laju kenaikan temperatur akan semakin menurun dibandingkan dengan laju kenaikan temperatur pada *single HHO*. Pada *single HHO* tidak memungkinkan terjadi proses pendinginan karena suplai daya listrik diberikan terus-menerus selama *HHO Cell* beroperasi. Pada *double HHO* terjadi proses pendinginan, yaitu saat *HHO Cell* berada pada siklus *OFF*. Pada saat *HHO Cell 1* pada siklus *OFF* maka akan terjadi proses pendinginan melalui plat-plat *stainless steel* ke lingkungan sekitar, sedangkan *HHO Cell 2* pada posisi *ON* untuk tetap memproduksi dan mensuplai gas *HHO*. Begitu seterusnya kedua *HHO Cell* tersebut akan bekerja bergantian secara otomatis sesuai seting *ON-OFF timer* yang sudah ditentukan.

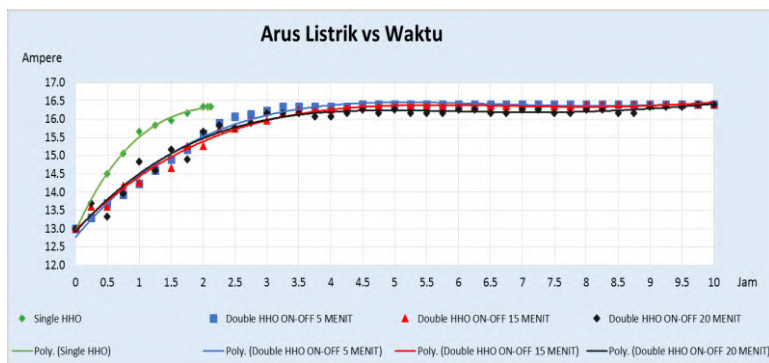
Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa dari empat variasi percobaan mempunyai karakteristik kenaikan temperatur yang berbeda-beda. Grafik pertama (warna hijau) merupakan grafik *single HHO*, dimana temperatur terus mengalami kenaikan sepanjang operasi dan tidak memungkinkan terjadi proses

pendinginan. Grafik kedua (warna biru) merupakan *double HHO ON-OFF* 5 menit, dimana lima menit pertama pada posisi *ON* dan lima menit kedua pada posisi *OFF* dan begitu seterusnya. Grafik ketiga (warna merah) merupakan *double HHO ON-OFF* 15 menit, dimana lima belas menit pertama pada posisi *ON* dan lima belas menit kedua pada posisi *OFF* dan begitu seterusnya. Grafik keempat (warna hitam) merupakan *double HHO ON-OFF* 20 menit, dimana dua puluh menit pertama pada posisi *ON* dan dua puluh menit kedua pada posisi *OFF* dan begitu seterusnya.

Apabila kenaikan temperatur saat siklus *ON* adalah  $\Delta T$  ON dan penurunan temperatur saat siklus *OFF* adalah  $\Delta T$  OFF, maka perbandingan  $\Delta T$  OFF dengan  $\Delta T$  ON apabila dinyatakan dalam persen (%) mempunyai harga yang berbeda pada tiap-tiap variasi pengujian. *Double HHO* dengan siklus *ON-OFF* setiap 5 menit rata-rata harga penurunan temperatur (saat siklus *OFF*) adalah sebesar 51.86% terhadap harga kenaikan temperatur (saat siklus *ON*). Pada siklus *ON-OFF* setiap 15 menit rata-rata harga penurunan temperatur sebesar 73.85 % sedangkan pada siklus *ON-OFF* setiap 20 menit sebesar 76.15 %.

#### 4.3.2 Grafik Arus Listrik vs Waktu

Setelah dilakukan pengujian generator HHO, maka didapatkan grafik arus listrik vs waktu sebagai berikut:



**Gambar 4.7** Grafik Arus Listrik vs Waktu

Proses elektrolisis yang terjadi pada generator HHO membutuhkan adanya aliran arus listrik, dimana arus listrik merupakan aliran partikel yang mempunyai muatan positif (proton). Adanya beda potensial listrik menyebabkan terjadinya aliran listrik melewati penghantar dari potensial tinggi ke potensial rendah. Semakin besar beda potensial dengan hambatan yang tetap maka semakin besar pula arus yang mengalir. Semakin kecil hambatan pada media penghantar maka semakin besar pula arus listrik yang dapat dialirkan. Dimana arus dan hambatan listrik dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

Arus listrik,  $I = V/R$

Dimana	V	: Beda potensial	( V )
	I	: Arus listrik	( A )
	R	: Hambatan listrik	( $\Omega$ )

Hambatan,  $R = \rho.L/A$

Dimana	R	: Hambatan listrik	( $\Omega$ )
	$\rho$	: Hambatan jenis	( $\Omega.m$ )
	L	: Panjang penghantar	( m )
	A	: Luas penghantar	( $m^2$ )

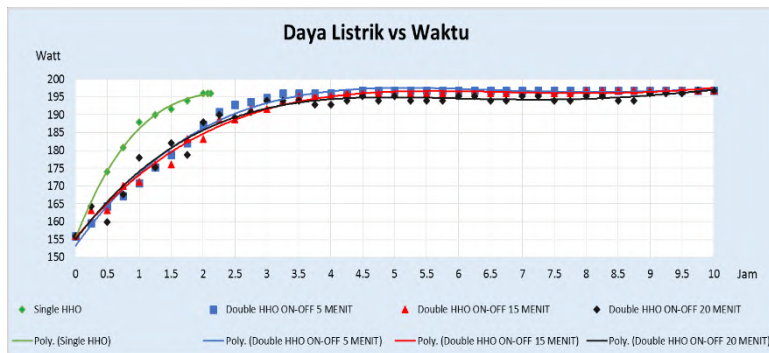
Pada grafik arus listrik vs waktu diatas dapat dilihat bahwa arus listrik mengalami kenaikan seiring dengan lama waktu pengoperasian. Dari hasil perhitungan data percobaan, pada *single HHO* dengan penambahan *PWM (Pulse Width Modulation)* konsumsi arus listrik dari 13 A sampai 16.3 A selama 125 menit dengan laju kenaikan arus listrik rata-rata sebesar 0.026 Amper/menit. Sedangkan pada *double HHO* dengan penambahan *PWM* dan siklus *ON-OFF* dengan *timing* 5 menit, 15 menit dan 20 menit konsumsi arus listrik dari 13 A sampai 16.4 A selama 10 jam operasi. Kenaikan temperatur signifikan sebelum jam ke 4 dan setelah jam ke 4 menunjukkan grafik datar. Laju kenaikan konsumsi arus listrik untuk *timing ON-OFF* 5 menit yaitu sebesar 0.004 Amper/menit, pada *timing*

*ON-OFF* 15 menit sebesar 0.004 Ampere/menit, sedangkan untuk *timing ON-OFF* 20 menit sebesar 0.006 Ampere/menit.

Pada pengujian *single HHO* dengan menggunakan *PWM* mempunyai laju konsumsi arus listrik rata-rata terbesar yaitu 0.026 Ampere/menit. Pada *double HHO* dengan penambahan siklus *ON-OFF timing* 5 dan 15 menit harga sebesar 0.004 Ampere/menit, sedangkan untuk *timing ON-OFF* 20 menit sebesar 0.006 Ampere/menit. Hal tersebut terjadi karena arus listrik pada *single HHO* diberikan secara terus menerus selama 125 menit sampai mencapai temperatur maksimum, sedangkan pada *double HHO* arus listrik yang diberikan bergantian mengikuti siklus *ON-OFF* yang ada.

### 4.3.3 Grafik Daya Listrik vs Waktu

Setelah dilakukan pengujian generator HHO, maka didapatkan grafik daya listrik fungsi waktu sebagai berikut:



**Gambar 4.8** Grafik Daya Listrik vs Waktu

Proses elektrolisis yang terjadi pada generator HHO merupakan proses yang membutuhkan energi listrik. Di dalam energi listrik terdapat arus dan tegangan, dimana arus listrik merupakan aliran partikel yang mempunyai muatan positif (proton), sedangkan tegangan menunjukkan adanya beda potensial antara kutub negatif dan positif. Adanya beda potensial

listrik menyebabkan terjadinya aliran listrik melewati penghantar dari potensial tinggi ke potensial rendah. Semakin besar beda potensial dengan hambatan yang tetap maka semakin besar pula arus yang mengalir. Semakin kecil hambatan pada media penghantar maka semakin besar pula arus listrik yang dapat dialirkan. Hasil perkalian antara besar arus listrik yang mengalir dengan beda potensial atau tegangan akan dihasilkan daya listrik, dapat dirumuskan sebagai berikut:

Daya listrik,  $P = V \times I$

Dimana	P	: Daya listrik	( W )
	V	: Beda potensial	( V )
	I	: Arus listrik	( A )

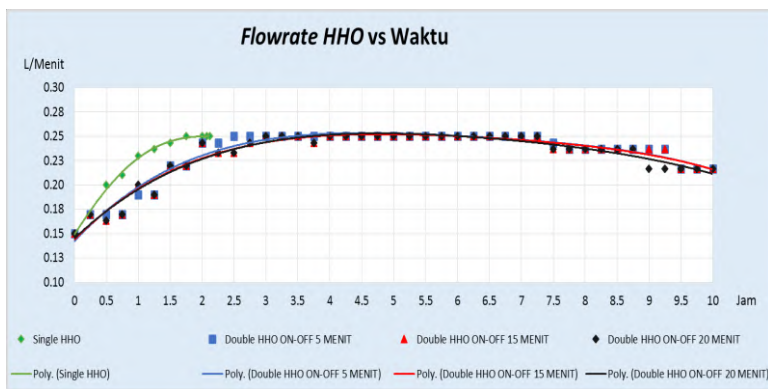
Pada grafik daya fungsi waktu diatas dapat dilihat bahwa daya listrik mengalami kenaikan seiring dengan lama waktu pengoperasian. Grafik tersebut mempunyai tren yang sama dengan grafik arus fungsi waktu, karena grafik daya merupakan hasil perkalian antara arus dan tegangan, sedangkan tegangan merupakan harga tetap yaitu sebesar 12 volt. Pada *single HHO* dengan penambahan *PWM (Pulse Width Modulation)* konsumsi daya listrik rata-rata selama 125 menit sebesar 185.4 Watt, sedangkan pada *double HHO* dengan penambahan *PWM* dan siklus *ON-OFF* dengan *timing* 5 menit, 15 menit dan 20 menit konsumsi daya listrik rata-rata selama 10 jam operasi secara berturut-turut yaitu sebesar 190.7 Watt, 190.1 Watt dan 189.4 Watt.

Konsumsi daya listrik seperti terlihat pada grafik diatas, sebelum jam ke 4 konsumsi daya listrik mengalami kenaikan yang signifikan dan setelah jam ke 4 cenderung konstan pada *range* kerja 192 Watt. Hal tersebut disebabkan karena konsumsi arus listrik diatas jam ke empat cenderung konstan pada *range* kerja 16 Ampere. Pengujian *single HHO* mempunyai harga rata-rata daya yang lebih kecil dibanding pada *double HHO* karena konsumsi daya listrik diatas jam ke 4 mempunyai harga tertinggi

dan stabil. *Timing ON-OFF* Generator HHO akan berpengaruh terhadap fluktuasi arus dan daya listrik, semakin besar *timing ON-OFF* maka akan semakin besar fluktuasi konsumsi daya listrik sehingga rata-rata konsumsi daya listrik akan semakin kecil.

#### 4.3.4 Grafik Laju Produksi Gas HHO vs Waktu

Setelah dilakukan pengujian generator HHO, maka didapatkan grafik laju produksi gas HHO vs waktu sebagai berikut:



**Gambar 4.9** Grafik Laju Produksi Gas HHO vs Waktu

Produksi gas HHO pada proses elektrolisis air dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya: konsentrasi katalis dalam elektrolit, frekuensi listrik, *duty cycle PWM*, jenis dan jumlah elektroda serta jumlah arus listrik yang mengalir. Oleh karena itu perlu dilakukan pemilihan faktor-faktor diatas pada kondisi optimal dimana laju kenaikan temperatur minimal dengan produksi gas HHO yang tetap maksimal.

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa produksi gas HHO mengalami kenaikan seiring lama waktu operasi generator HHO. Pada pengujian *single HHO* dengan penambahan *PWM* mempunyai tren grafik kenaikan produksi gas HHO yang paling signifikan yaitu dari 0.15 sampai 0.25 L/menit sampai menit ke

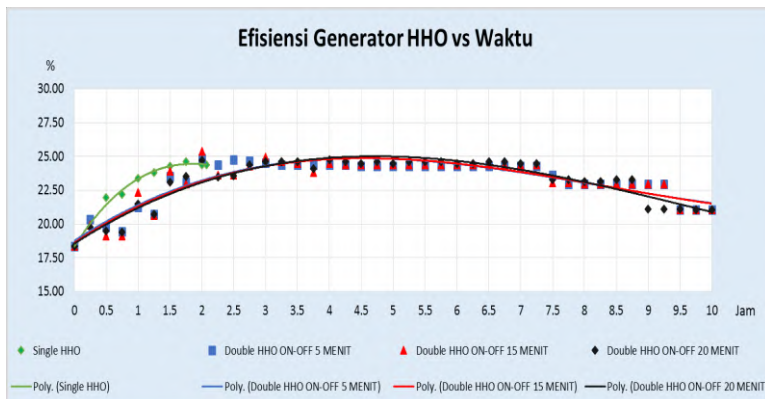


95 kemudian konstan 0.25 L/menit sampai menit ke 125. Pada pengujian *double HHO* dengan *timing ON-OFF* setiap 5 menit kenaikan produksi gas HHO sebesar 0.15 sampai 0.25 Liter/menit sampai jam ke 2.5 dan konstan 0.25 L/menit sampai jam ke 7.5 kemudian turun menjadi 0.2 L/menit sampai jam ke 10. Pada *timing ON-OFF* 15 menit dan 20 menit kenaikan produksi gas HHO dari 0.15 sampai 0.25 Liter/ menit sampai jam ke 3. Sedangkan produksi gas HHO diatas jam ke 3 menunjukkan grafik yang relatif konstan sampai jam ke 7, kemudian turun menjadi 0.25 L/menit sampai jam ke 10.

Pada pengujian *single HHO* arus listrik diberikan terus menerus dan laju kenaikan arus listrik dan temperatur mempunyai harga tertinggi sehingga laju produksi gas HHO juga mempunyai harga tertinggi. Pada pengujian *double HHO* pada jam ke 7 produksi gas HHO mengalami penurunan, hal itu disebabkan karena endapan elektroda yang terkorosi semakin banyak seiring lama waktu pengoperasian.

#### 4.3.5 Grafik Efisiensi Generator vs Waktu

Setelah dilakukan pengujian generator HHO, maka didapatkan grafik efisiensi generator vs waktu sebagai berikut:



Gambar 4.10 Grafik Efisiensi Generator vs Waktu

Efisiensi merupakan perbandingan antara energi yang berguna dengan energi yang diberikan pada suatu sistem. Pada generator HHO hasil yang berguna adalah produk elektrolisa air yang berupa gas HHO, sedangkan energi yang diberikan adalah daya listrik yang digunakan untuk proses elektrolisis.

Besarnya efisiensi dapat dihitung dari persamaan berikut:

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

Reaksi penguraian air merupakan reaksi endoterm yang menghasilkan energi entalpi yang bernilai positif (+). Energi entalpi yang dihasilkan adalah  $\Delta h_f = + 286$  kJ/mol. Sedangkan energi ikatan yang dibutuhkan adalah melalui penurunan persamaan gas ideal pada kondisi STP. Energi ikatan didefinisikan sebagai energi yang diperlukan untuk memutuskan satu 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, maka efisiensi generator HHO dapat dinyatakan dengan persamaan berikut ini:

$$\eta = \frac{\Delta h_f \cdot \dot{n}}{V \cdot I} \times 100\%$$

Dimana  $\Delta h_f$  merupakan besarnya energi untuk penguraian 1 mol molekul air,  $\dot{n}$  : molaritas senyawa persatuan waktu,  $V$  : voltase dan  $I$  merupakan arus listrik pada proses elektrolisis air.

Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa secara umum dari empat variasi percobaan, sebelum jam ke 4 grafik efisiensi menunjukkan tren naik seiring waktu operasi generator HHO sedangkan setelah jam ke 4 menunjukkan grafik yang relative datar kemudian pada jam ke 7 mulai mengalami penurunan. Pada pengujian *single HHO* dengan penambahan *duty cycle PWM* sampai menit ke 125 efisiensi rata-rata sebesar 23%. Kemudian pada pengujian *double HHO* dengan penambahan siklus *ON-OFF*

*timing* 5 menit, 15 menit dan 20 menit selama 10 jam operasi efisiensi rata-rata secara berturut-turut sebesar 22.7 %, 22.6 % dan 22.5%.

Efisiensi generator naik seiring dengan kenaikan produksi gas HHO. Laju kenaikan arus dan daya listrik lebih rendah dari laju kenaikan produksi gas HHO sehingga harga efisiensi semakin naik. Diatas jam ke 7 efisiensi generator HHO mengalami penurunan karena produksi gas HHO diatas jam ke 7 mengalami penurunan sedangkan daya listrik yang digunakan tetap konstan.

#### **4.4 Perbandingan Efektifitas Kerja *Single* dan *Double* Generator HHO**

Sebelum membahas lebih jauh terkait efektifitas kerja, perlu kiranya kita memahami terlebih dahulu apa yang dimaksud efektifitas dan keterhubungannya dengan penelitian ini. Pengertian efektifitas secara umum menunjukkan sampai seberapa jauh tercapainya suatu tujuan yang terlebih dahulu ditentukan. Tujuan utama dari adanya sistem *double HHO* adalah untuk meningkatkan lama waktu operasi yang dapat diidentifikasi dari laju kenaikan temperatur. Sedangkan konsumsi daya listrik dan produksi gas HHO bukan merupakan tujuan utama dari sistem *double HHO* ini. Efektifitas kerja antara *single HHO* dan *double HHO* dari segi daya yang digunakan, laju kenaikan temperatur dan produksi gas HHO dapat dijelaskan sebagai berikut:

##### **4.4.1 Laju Temperatur Elektrolit**

Tujuan utama dari sitem *double HHO* adalah untuk meningkatkan waktu operasi generator HHO, dimana operasi generator HHO dibatasi dengan adanya temperatur penguapan, dalam penelitian ini temperatur maksimal dibatasi pada suhu 75 °C. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa rata-rata laju kenaikan temperatur elektrolit untuk *single HHO* adalah sebesar 0.37 °C/ menit sedangkan pada *double HHO* sebesar 0.044 °C/ menit. Apabila kita rumuskan maka lama waktu operasi generator HHO dapat dicari sebagai berikut:

Perumusan untuk *single HHO* :

$$\begin{aligned}\Delta T_s(t) &= T_o + (dT/dt) \cdot t \\ 75 \text{ }^\circ\text{C} &= 30 \text{ }^\circ\text{C} + (0.37 \text{ }^\circ\text{C/menit}) \times t \\ 45 &= 0.37 \times t \\ t &= 121.6 \text{ menit}\end{aligned}$$

Jadi pada *single HHO* untuk tercapai temperatur 75 °C adalah sekitar 122 menit (2 jam).

Perumusan untuk *double HHO* :

$$\begin{aligned}\Delta T_d(t) &= T_o + 1/2(dT/dt) - n (1/2dT/dt) \times t \\ 75 \text{ }^\circ\text{C} &= 30 \text{ }^\circ\text{C} + [1/2 (0.37 \text{ }^\circ\text{C/menit}) - 0.76 (1/2 \times 0.37 \\ &\quad \text{ }^\circ\text{C/menit})] \times t \\ 45 &= 0.044 \times t \\ t &= 1020 \text{ menit}\end{aligned}$$

Jadi dengan sistem *double HHO* terbukti sangat efektif untuk meningkatkan lama waktu operasi, karena waktu operasi meningkat sebesar **850%** dibanding dengan sistem *single HHO*. Waktu operasi meningkat dari 121 menit (2 jam) menjadi 1020 menit (17 jam).

#### 4.4.2 Daya Listrik

Untuk membandingkan keterkaitan efektifitas daya listrik yang digunakan antara *single* dan *double HHO* relatif susah, karena waktu operasinya berbeda. Namun apabila kita kondisikan sebagai operasi ideal dari generator HHO yang sudah dibuat, dimana HHO dirancang untuk mendukung mesin genset (*constant speed*) maka operasi ideal generator HHO adalah pada konsumsi daya listrik yang tetap. Dari segi konsumsi daya maka dapat dibandingkan laju konsumsi daya listrik pada operasi 2 jam pertama (operasi *single HHO*), dimana pada *single HHO* laju kenaikan daya listrik sebesar 0.35 Watt/menit sedangkan pada *double HHO* sebesar 0.26 Watt/menit. Setelah 2 jam operasi pada *double HHO* konsumsi daya relatif konstan dan laju kenaikan daya hanya sebesar 0.016 Watt/ menit. Dari data tersebut

didapatkan bahwa efektifitas konsumsi daya pada *double HHO* lebih baik daripada *single HHO* karena pada *double HHO* konsumsi daya relatif lebih konstan.

Namun bila konsumsi daya listrik kita kaitkan dengan laju produksi gas yang dihasilkan, bisa dibandingkan dalam bentuk efisiensi generator HHO. Efisiensi pada *single HHO* pada jam ke 2 operasi sebesar 24.38% sedangkan pada *double HHO* pada jam ke 2 operasi sebesar 24.88%. Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa pada operasi 2 jam pertama sistem *double HHO* lebih efektif bila dibandingkan *single HHO*. Namun pada *double HHO* pada akhir operasi produksi gas HHO menurun karena semakin banyak endapan elektroda yang terbentuk sehingga bila dirata-ratakan efisiensi *double HHO* selama 10 jam operasi adalah sebesar 22.4% sedangkan pada *single HHO* selama 2 jam operasi sebesar 23%.

#### **4.4.3 Produksi Gas HHO**

Seperti pada konsumsi daya listrik, untuk membandingkan keterkaitan antara *single* dan *double HHO* relatif susah, karena waktu operasinya berbeda. Namun bagaimanapun juga semakin besar produksi gas HHO yang terbentuk berarti generator HHO tersebut semakin baik. Pada *single HHO* produksi gas pada jam ke 2 sebesar 0.25 L/menit sedangkan pada *double HHO* pada jam ke 2 operasi sebesar 0.22 L/menit. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa efektifitas *single HHO* dilihat dari segi laju produksi gas lebih baik bila dibandingkan dengan *double HHO*.

Namun apabila produksi gas HHO tersebut kita kaitkan dengan konsumsi daya listrik yang digunakan, dapat kita bandingkan dari efisiensi generator HHO. Dalam hal ini maka kasusnya akan sama seperti yang dijelaskan pada sub bab 4.4.2 diatas. Dimana pada 2 jam operasi pertama sistem *double HHO* lebih efektif dibanding *single HHO*.

## Lampiran A

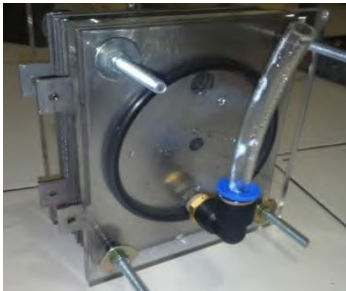
### GAMBAR GENERATOR HHO GANDA



Pandangan depan



Pandangan samping kanan



*HHO Cell 1*



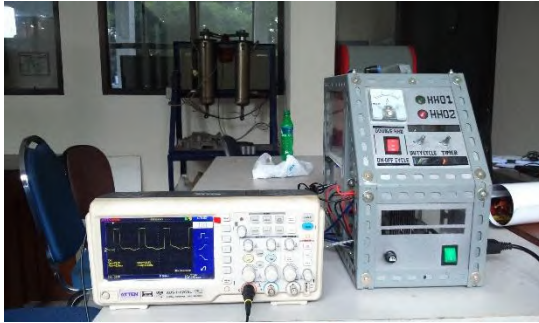
Pandangan samping kiri



*HHO Cell 2*



*Rangkaian PWM & ON-OFF Timer*



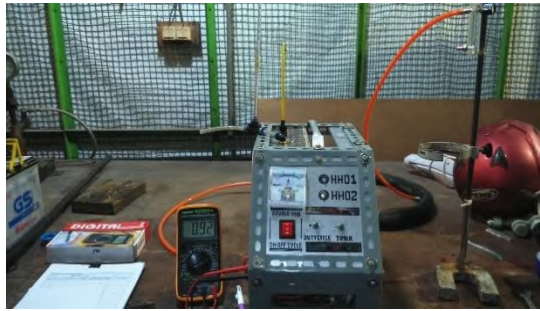
Pengujian PWM dan Frekuensi



Pengujian relay



*Flowrate*



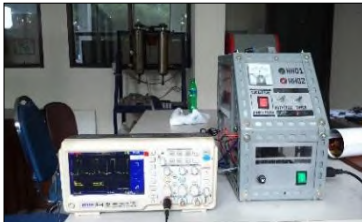
Pengujian generator HHO

## Lampiran B

### PENGUJIAN RANGKAIAN ELEKTRIK

Pengujian rangkaian listrik terdiri dari pengujian *duty cycle* PWM, frekuensi listrik dan konsumsi daya sistem control elektrik sebagai berikut:

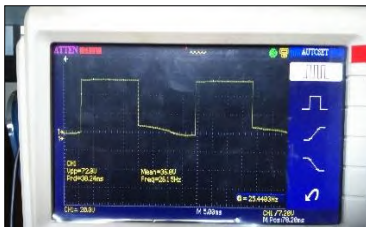
#### 1. Pengujian *duty cycle* PWM



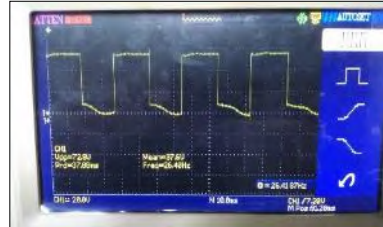
Pengujian dengan *osiloscope*



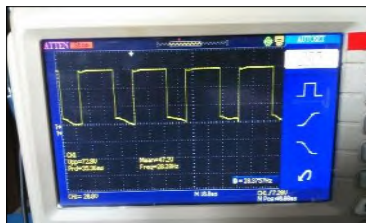
*Duty cycle* PWM 25%



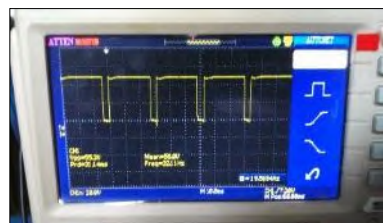
*Duty cycle* PWM 50%



*Duty cycle* PWM 55%



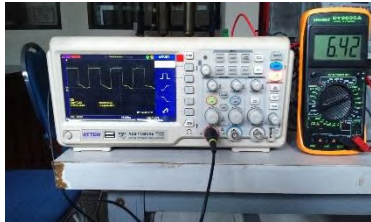
*Duty cycle* PWM 60%



*Duty cycle* PWM 80%



## 2. Pengujian frekuensi listrik



Pengujian frekuensi listrik



Frekuensi listrik 26.4 Hz

## 3. Pengujian konsumsi daya sistem kontrol elektrik



Konsumsi daya saat *relay ON* sebesar : 15.14 mA



Konsumsi daya saat *relay OFF* sebesar : 9.2 mA

## Lampiran C

### GAMBAR PENGUJIAN GENERATOR HHO

Gambar pengujian terdiri dari pengujian *single HHO*, pengujian *double HHO timing ON-OFF* setiap 5 menit, 15 menit dan 20 menit sebagai berikut:

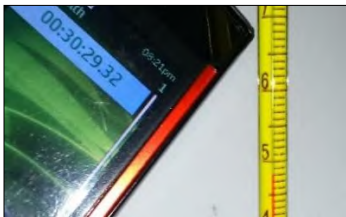
#### 1. Pengujian *single HHO*



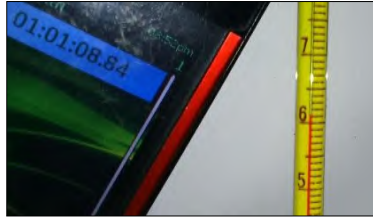
Pengujian *single HHO*



Temperatur menit ke 0 : 29°C



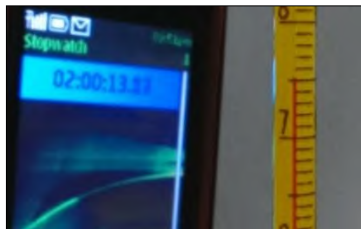
Temperatur menit ke 30 : 48°C



Temperatur menit ke 60 : 61°C



Temperatur menit ke 90 : 70°C

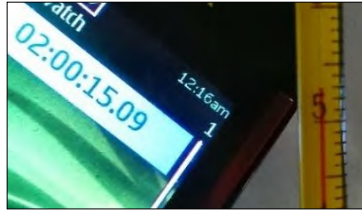


Temperatur menit ke 120: 75°C

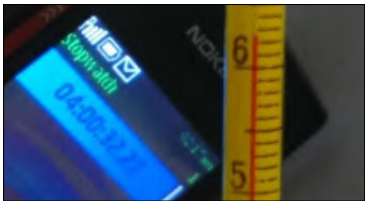
## 2. Pengujian double HHO timing ON-OFF 5 menit



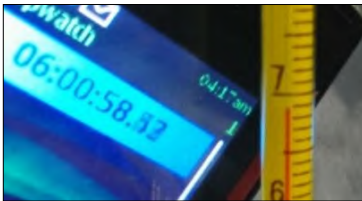
Temperatur jam ke 0 : 30°C



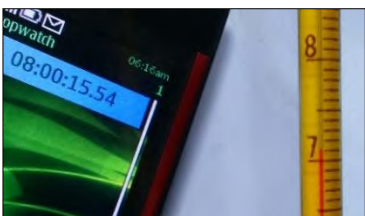
Temperatur jam ke 2 : 53°C



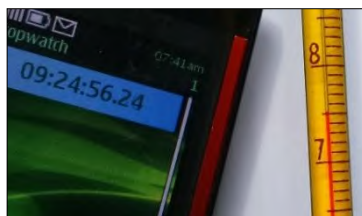
Temperatur jam ke 4 : 62.5°C



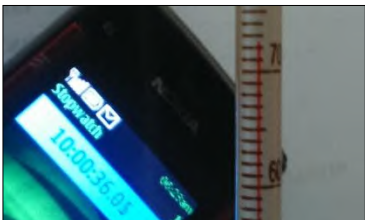
Temperatur jam ke 6 : 68.8°C



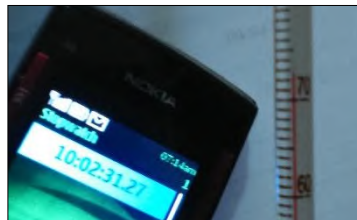
Temperatur jam ke 8 : 71°C



Uji ke 1, jam ke 10 : 75°C



Uji ke 2, jam ke 10 : 72.2°C

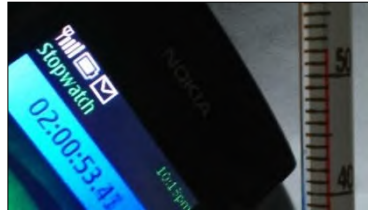


Uji ke 3, jam ke 10 : 73°C

### 3. Pengujian double HHO timing ON-OFF 15 menit



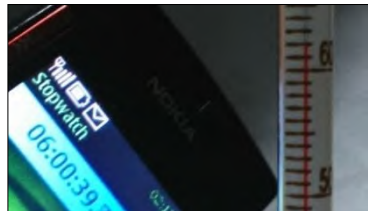
Temperatur jam ke 0 : 31°C



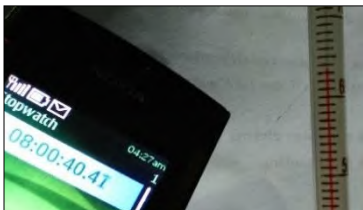
Temperatur jam ke 2 : 52°C



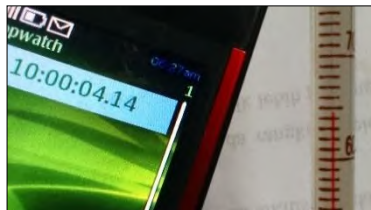
Temperatur jam ke 4 : 59°C



Temperatur jam ke 6 : 62°C



Temperatur jam ke 8 : 63.5°C



Temperatur jam ke 10 : 64.5°C

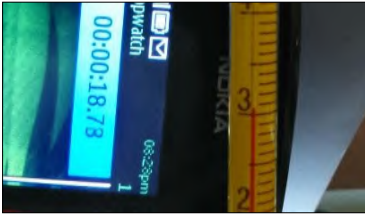


Konsumsi arus listrik : 16 A



Flowrate HHO : 0.25 L/menit

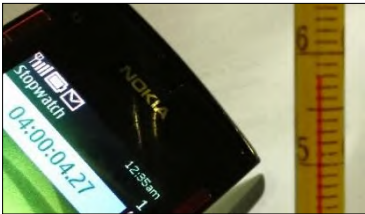
#### 4. Pengujian double HHO timing ON-OFF 20 menit



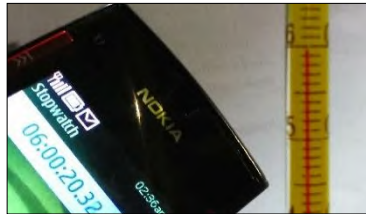
Temperatur jam ke 0 : 30°C



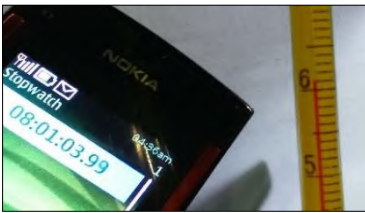
Temperatur jam ke 2 : 51°C



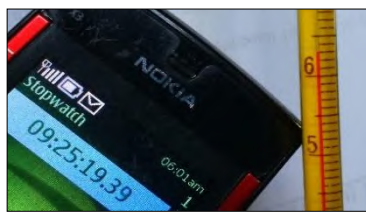
Temperatur jam ke 4 : 58°C



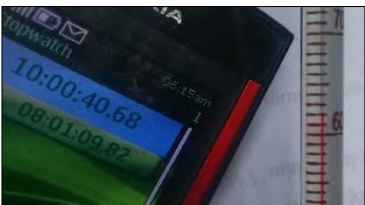
Temperatur jam ke 6 : 59.5°C



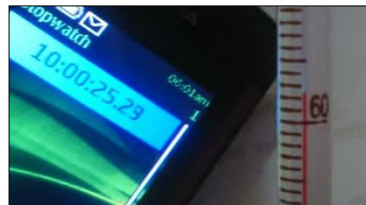
Temperatur jam ke 8 : 61°C



Uji ke 1, jam ke 10 : 63°C



Uji ke 2, jam ke 10 : 62°C



Uji ke 3, jam ke 10 : 62.5°C

## Lampiran D

### DATA DAN GRAFIK PENGUJIAN GENERATOR HHO

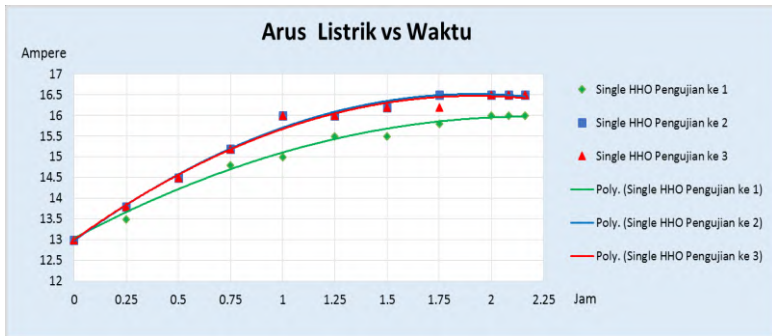
Tabel D.1 Pengujian *Single HHO* (Data per lima menit)

PENGUJIAN UNJUK KERJA GENERATOR HHO													
Jenis Pengujian		: Single HHO with PWM											
Hari, Tanggal pengujian		: Jumat, 29-01-2016 (1)				: Minggu, 13-03-2016 (2)				: Senin, 14-03-2016 (3)			
Temperatur kamar		: 29.5 °C (1)				: 30 °C (2)				: 30 °C (3)			
No	Menit ke	Tegangan (Volt)	Arus listrik (Ampere)			Temperatur Elektrolit (°C)				Flowrate HHO (L/menit)			Keterangan
			Uji ke 1	Uji ke 2	Uji ke 3	Uji ke 1	Uji ke 2	Uji ke 3	Avrq	Uji ke 1	Uji ke 2	Uji ke 3	
0	0	12	13	13	13	29	30	30	29.7	0.15	0.15	0.15	
1	5	12	13	13.2	13.2	33	33	33	33.0	0.15	0.15	0.15	
2	10	12	13.2	13.5	13.5	36	36	36	36.0	0.15	0.17	0.17	
3	15	12	13.5	13.8	13.8	39	39	39	39.0	0.17	0.17	0.17	
4	20	12	13.8	14	14	42	42	41.8	41.9	0.17	0.17	0.17	
5	25	12	14	14.2	14.2	45	44	43.8	44.3	0.17	0.2	0.2	
6	30	12	14.5	14.5	14.5	48	46.5	46	46.8	0.2	0.2	0.2	0.5 jam
7	35	12	14.5	14.8	14.8	50.5	48.5	48	49.0	0.2	0.2	0.2	
8	40	12	14.8	15	15	52.5	50.5	50	51.0	0.2	0.2	0.2	
9	45	12	14.8	15.2	15.2	54.5	52.8	52	53.1	0.2	0.23	0.2	
10	50	12	14.8	15.5	15.5	57	54.8	54	55.3	0.2	0.23	0.23	
11	55	12	15	15.8	15.8	59	56.8	56	57.3	0.2	0.23	0.23	
12	60	12	15	16	16	61	58.8	58	59.3	0.23	0.23	0.23	1jam
13	65	12	15.2	16	16	62.5	60	59.5	60.7	0.23	0.23	0.23	
14	70	12	15.2	16	16	64.5	61.2	60.8	62.2	0.23	0.23	0.23	
15	75	12	15.5	16	16	66	62.8	62	63.6	0.23	0.25	0.23	
16	80	12	15.5	16	16	67	64	63.2	64.7	0.23	0.25	0.25	
17	85	12	15.5	16.2	16.2	68.5	65.5	64.5	66.2	0.23	0.25	0.25	
18	90	12	15.5	16.2	16.2	70.5	66.5	65.8	67.6	0.23	0.25	0.25	1.5 jam
19	95	12	15.8	16.2	16.2	71.5	67.5	67	68.7	0.23	0.25	0.25	
20	100	12	15.8	16.2	16.2	72	69	68.2	69.7	0.25	0.25	0.25	
21	105	12	15.8	16.5	16.2	73	70.2	69.5	70.9	0.25	0.25	0.25	
22	110	12	16	16.5	16.5	74	71.5	70.8	72.1	0.25	0.25	0.25	
23	115	12	16	16.5	16.5	74.5	72.8	71.8	73.0	0.25	0.25	0.25	
24	120	12	16	16.5	16.5	75	74	72.8	73.9	0.25	0.25	0.25	2 jam
25	125	12	16	16.5	16.5	75.5	75	73.8	74.8	0.25	0.25	0.25	
26	130	12	16	16.5	16.5	76	75.8	74.8	75.5		0.25	0.25	
27	135	12			16.5			75.5			0.25	0.25	

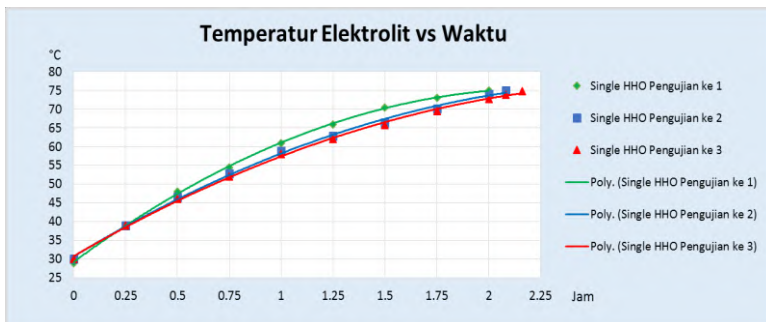
Tabel D.2 Pengujian *Single HHO* (Rangkuman dr data 5 menit)

PENGUJIAN UNJUK KERJA GENERATOR HHO													
Jenis Pengujian		: Single HHO with PWM											
Hari, Tanggal pengujian		: Jumat, 29-01-2016 (1)				: Minggu, 13-03-2016 (2)				: Senin, 14-03-2016 (3)			
Temperatur kamar		: 29.5 °C (1)				: 30 °C (2)				: 30 °C (3)			
No	Menit ke	Tegangan (Volt)	Arus listrik (Ampere)			Temperatur Elektrolit (°C)				Flowrate HHO (L/menit)			Keterangan
			Uji ke 1	Uji ke 2	Uji ke 3	Uji ke 1	Uji ke 2	Uji ke 3	Avrq	Uji ke 1	Uji ke 2	Uji ke 3	
0	0	12	13	13	13	29	30	30	29.7	0.15	0.15	0.15	0
3	15	12	13.5	13.8	13.8	39	39	39	39.0	0.17	0.17	0.17	0.25
6	30	12	14.5	14.5	14.5	48	46.5	46	46.8	0.2	0.2	0.2	0.5
9	45	12	14.8	15.2	15.2	54.5	52.8	52	53.1	0.2	0.23	0.2	0.75
12	60	12	15	16	16	61	58.8	58	59.3	0.23	0.23	0.23	1
15	75	12	15.5	16	16	66	62.8	62	63.6	0.23	0.25	0.23	1.25
18	90	12	15.5	16.2	16.2	70.5	66.5	65.8	67.6	0.23	0.25	0.25	1.5
21	105	12	15.8	16.5	16.2	73	70.2	69.5	70.9	0.25	0.25	0.25	1.75
24	120	12	16	16.5	16.5	75	74	72.8	73.9	0.25	0.25	0.25	2
25	125	12	16	16.5	16.5	75.5	75	73.8	74.8	0.25	0.25	0.25	2.083
26	130	12	16	16.5	16.5	76	75.8	74.8	75.5		0.25	0.25	2.16

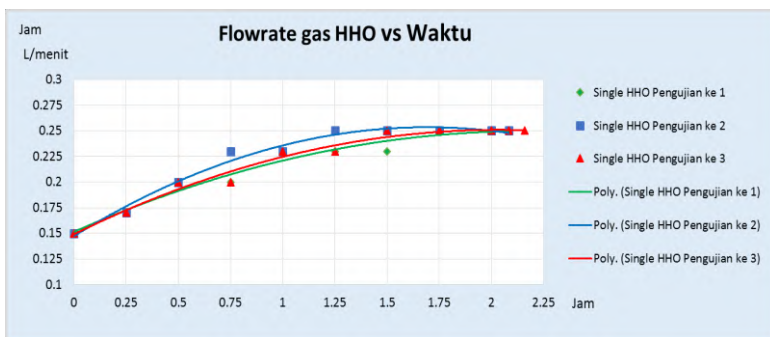
Grafik D.1 Arus Listrik vs Waktu Pengujian *Single HHO*



Grafik D.2 Temp. Elektrolit vs Waktu Pengujian *Single HHO*



Grafik D.3 Flowrate Gas vs Waktu Pengujian *Single HHO*



Tabel D.3 Pengujian *Double HHO* Timing ON-OFF 5 Menit  
(Data per lima menit)

PENGUJIAN UNJUK KERJA GENERATOR HHO													
Jenis Pengujian		: Double HHO ON-OFF 5 Menit											
Hari, Tanggal pengujian		: Sabtu, 30-01-2016 (1)				: Sabtu, 19-03-2016 (2)				: Minggu, 20-03-2016 (3)			
Temperatur kamar		: 29 °C (1)				: 30 °C (2)				: 30 °C (3)			
No	Menit ke	Tegangan (Volt)	Arus listrik (Ampere)			Temperatur Elektrolit (°C)				Flowrate HHO (L/menit)			Keterangan
			Uji ke 1	Uji ke 2	Uji ke 3	Uji ke 1	Uji ke 2	Uji ke 3	Avg	Uji ke 1	Uji ke 2	Uji ke 3	
0	0	12	13	13	13	29	30	30	29.7	0.15	0.15	0.15	
1	5	12	13	13	13.2	32	33	33	32.7	0.15	0.15	0.15	
2	10	12	13.2	13.2	13.2	32	33	33	32.7	0.17	0.17	0.17	
3	15	12	13.2	13.2	13.5	35	36	36	35.7	0.17	0.17	0.17	
4	20	12	13.5	13.5	13.5	35	36	36	35.7	0.17	0.17	0.17	
5	25	12	13.5	13.5	13.5	38	39	39	38.7	0.17	0.15	0.15	
6	30	12	13.5	13.8	13.8	38	39	39	38.7	0.17	0.17	0.17	
7	35	12	13.8	13.8	13.8	40.5	41.8	41.8	41.4	0.17	0.17	0.17	
8	40	12	13.8	14	13.8	40	41.5	41.5	41.0	0.17	0.17	0.17	
9	45	12	13.8	14	14	42.5	44	44	43.5	0.17	0.17	0.17	
10	50	12	14	14.2	14	42	43.8	43.8	43.2	0.17	0.2	0.2	
11	55	12	14	14.2	14.2	45	46	46	45.7	0.17	0.2	0.2	
12	60	12	14	14.5	14.2	44	45.5	45.5	45.0	0.17	0.2	0.2	1jam
13	65	12	14	14.5	14.5	46.8	48	48	47.6	0.17	0.17	0.17	
14	70	12	14.2	14.8	14.5	46	47	47.5	46.8	0.17	0.2	0.2	
15	75	12	14.2	14.8	14.8	48.5	49	50	49.2	0.17	0.2	0.2	
16	80	12	14.5	15	14.8	47.5	48.2	49	48.2	0.2	0.2	0.2	
17	85	12	14.5	15	15	50	49.8	51	50.3	0.2	0.23	0.23	
18	90	12	14.5	15.2	15	49	49.2	50	49.4	0.2	0.23	0.23	
19	95	12	14.8	15.2	15	51.5	51	52	51.5	0.2	0.23	0.23	
20	100	12	14.8	15.5	15.2	50.5	50.5	51	50.7	0.2	0.23	0.23	
21	105	12	14.8	15.5	15.2	53	52.5	52.8	52.8	0.2	0.23	0.23	
22	110	12	15	15.8	15.5	52	51.5	52	51.8	0.23	0.23	0.23	
23	115	12	15	15.8	15.5	54	53.5	53.8	53.8	0.23	0.23	0.23	
24	120	12	15	16	15.8	53	52.8	53	52.9	0.23	0.25	0.25	2jam
25	125	12	15.2	16	15.8	55	55	54.8	54.9	0.23	0.25	0.25	
26	130	12	15.5	16.2	16	54	54	54	54.0	0.23	0.25	0.25	
27	135	12	15.5	16.2	16	56.5	55.8	55.5	55.9	0.23	0.25	0.25	
28	140	12	15.5	16.2	16.2	55.5	55.2	55	55.2	0.23	0.25	0.25	
29	145	12	15.8	16.2	16.2	57.5	57.5	56.8	57.3	0.25	0.25	0.25	
30	150	12	15.8	16.2	16.2	56.5	56.5	56	56.3	0.25	0.25	0.25	
31	155	12	15.8	16.2	16.2	58.5	58.5	57.5	58.2	0.25	0.25	0.25	
32	160	12	16	16.2	16.2	57.5	57.5	56.5	57.2	0.25	0.25	0.25	
33	165	12	16	16.2	16.2	59.5	59.5	58	59.0	0.25	0.25	0.25	
34	170	12	16	16.2	16.2	58.5	58.5	57	58.0	0.25	0.25	0.25	
35	175	12	16	16.2	16.5	60	60.2	59.2	59.8	0.25	0.25	0.25	
36	180	12	16	16.2	16.5	59	59.2	58	58.7	0.25	0.25	0.25	3jam
37	185	12	16	16.5	16.5	61	61.5	59.5	60.7	0.25	0.25	0.25	
38	190	12	16	16.5	16.5	60	60.5	58.2	59.6	0.25	0.25	0.25	
39	195	12	16	16.5	16.5	61.5	61.8	60	61.1	0.25	0.25	0.25	
40	200	12	16	16.5	16.5	60.5	60.8	59	60.1	0.25	0.25	0.25	
41	205	12	16	16.5	16.5	62	60.2	60.2	61.4	0.25	0.25	0.25	
42	210	12	16	16.5	16.5	61	61	59.2	60.4	0.25	0.25	0.25	
43	215	12	16	16.5	16.5	63	62.2	60.8	62.0	0.25	0.25	0.25	
44	220	12	16	16.5	16.5	61.5	61.2	59.8	60.8	0.25	0.25	0.25	
45	225	12	16	16.5	16.5	63	61.5	61.2	61.9	0.25	0.25	0.25	
46	230	12	16	16.5	16.5	62	61.5	60	61.2	0.25	0.25	0.25	
47	235	12	16	16.5	16.5	63.5	62.8	61.5	62.6	0.25	0.25	0.25	
48	240	12	16	16.5	16.5	62.5	61.8	60.2	61.5	0.25	0.25	0.25	4jam



Tabel D.3 Pengujian *Double HHO ON-OFF 5 Menit (Lanjutan 1)*

49	245	12	16	16.5	16.5	64	63.8	62	63.3	0.25	0.25	0.25	
50	250	12	16	16.5	16.5	63	62.8	60.8	62.2	0.25	0.25	0.25	
51	255	12	16	16.5	16.5	65	64	62.5	63.8	0.25	0.25	0.25	
52	260	12	16	16.5	16.5	63.5	64	61.2	62.6	0.25	0.25	0.25	
53	265	12	16.2	16.5	16.5	65.2	64.8	62.8	64.3	0.25	0.25	0.25	
54	270	12	16.2	16.5	16.5	64	63.5	61.5	63.0	0.25	0.25	0.25	
55	275	12	16.2	16.5	16.5	66	65	63	64.7	0.25	0.25	0.25	
56	280	12	16.2	16.5	16.5	65	63.8	61.8	63.5	0.25	0.25	0.25	
57	285	12	16.2	16.5	16.5	66.5	65.5	63.5	65.2	0.25	0.25	0.25	
58	290	12	16.2	16.5	16.5	65.5	64	62	63.8	0.25	0.25	0.25	
59	295	12	16.2	16.5	16.5	67	66	64	65.7	0.25	0.25	0.25	
60	300	12	16.2	16.5	16.5	66	65	62.5	64.5	0.25	0.25	0.25	5 jam
61	305	12	16.2	16.5	16.5	67.5	66.8	64.5	66.3	0.25	0.25	0.25	
62	310	12	16.2	16.5	16.5	66.5	65.8	62.8	65.0	0.25	0.25	0.25	
63	315	12	16.2	16.5	16.5	68	67.5	65	66.8	0.25	0.25	0.25	
64	320	12	16.2	16.5	16.5	67	66.8	63	65.6	0.25	0.25	0.25	
65	325	12	16.2	16.5	16.5	68.5	68	65.5	67.3	0.25	0.25	0.25	
66	330	12	16.2	16.5	16.5	67.5	67	63.5	66.0	0.25	0.25	0.25	
67	335	12	16.2	16.5	16.5	69	68.2	66	67.7	0.25	0.25	0.25	
68	340	12	16.2	16.5	16.5	68	67.2	63.8	66.3	0.25	0.25	0.25	
69	345	12	16.2	16.5	16.5	69.5	68.8	66.5	68.3	0.25	0.25	0.25	
70	350	12	16.2	16.5	16.5	68.5	67.5	64.2	66.7	0.25	0.25	0.25	
71	355	12	16.2	16.5	16.5	70	69.2	67	68.7	0.25	0.25	0.25	
72	360	12	16.2	16.5	16.5	69	67.8	65	67.3	0.25	0.25	0.25	6 jam
73	365	12	16.2	16.5	16.5	70.2	69.5	67.5	69.1	0.25	0.25	0.25	
74	370	12	16.2	16.5	16.5	69.2	68	65.8	67.7	0.25	0.25	0.25	
75	375	12	16.2	16.5	16.5	70.8	69.8	68	69.5	0.25	0.25	0.25	
76	380	12	16.2	16.5	16.5	69.8	68.2	66.5	68.2	0.25	0.25	0.25	
77	385	12	16.2	16.5	16.5	71	70.2	68.5	69.9	0.25	0.25	0.25	
78	390	12	16.2	16.5	16.5	69.5	68.8	67	68.4	0.25	0.25	0.25	
79	395	12	16.2	16.5	16.5	70.8	70.8	69	70.2	0.25	0.25	0.25	
80	400	12	16.2	16.5	16.5	69.8	69	67.5	68.8	0.25	0.25	0.25	
81	405	12	16.2	16.5	16.5	71.2	71	69.5	70.6	0.25	0.25	0.25	
82	410	12	16.2	16.5	16.5	69.8	69.2	68	69.0	0.25	0.25	0.25	
83	415	12	16.2	16.5	16.5	71.2	71.2	70	70.8	0.25	0.25	0.25	
84	420	12	16.2	16.5	16.5	70	69.8	68.5	69.4	0.25	0.25	0.25	7 jam
85	425	12	16.2	16.5	16.5	71.5	71.5	70.5	71.2	0.25	0.25	0.25	
86	430	12	16.2	16.5	16.5	70	70	69	69.7	0.25	0.25	0.25	
87	435	12	16.2	16.5	16.5	71.8	71.8	71	71.5	0.25	0.25	0.25	
88	440	12	16.2	16.5	16.5	70	70.5	69.5	70.0	0.25	0.25	0.23	
89	445	12	16.2	16.5	16.5	71.8	72	71.2	71.7	0.25	0.25	0.23	
90	450	12	16.2	16.5	16.5	70.5	70.8	69.8	70.4	0.25	0.25	0.23	
91	455	12	16.2	16.5	16.5	72	72.2	71.5	71.9	0.25	0.23	0.23	
92	460	12	16.2	16.5	16.5	70.8	71	70	70.6	0.25	0.23	0.23	
93	465	12	16.2	16.5	16.5	72.2	72.2	71.8	72.1	0.25	0.23	0.23	
94	470	12	16.2	16.5	16.5	70.8	71.2	70.2	70.7	0.25	0.23	0.23	
95	475	12	16.2	16.5	16.5	72.2	72.5	72	72.2	0.25	0.23	0.23	
96	480	12	16.2	16.5	16.5	71	71.2	70.5	70.9	0.25	0.23	0.23	8 jam
97	485	12	16.2	16.5	16.5	72.5	72.5	72.2	72.4	0.25	0.23	0.23	
98	490	12	16.2	16.5	16.5	71	71.2	70.8	71.0	0.25	0.23	0.23	
99	495	12	16.2	16.5	16.5	72.8	72.8	72.5	72.7	0.25	0.23	0.23	
100	500	12	16.2	16.5	16.5	71.2	71.5	71	71.2	0.25	0.23	0.23	
101	505	12	16.2	16.5	16.5	73	72.8	72.8	72.9	0.25	0.23	0.23	
102	510	12	16.2	16.5	16.5	71.2	71.5	71.2	71.3	0.25	0.23	0.23	
103	515	12	16.2	16.5	16.5	73	73	73	73.0	0.25	0.23	0.23	
104	520	12	16.2	16.5	16.5	71.2	71.5	71.5	71.4	0.25	0.23	0.23	
105	525	12	16.2	16.5	16.5	73.2	73	73.2	73.1	0.25	0.23	0.23	
106	530	12	16.2	16.5	16.5	71.2	71.8	71.8	71.6	0.25	0.23	0.23	
107	535	12	16.2	16.5	16.5	73.8	73.2	73.5	73.5	0.25	0.23	0.23	
108	540	12	16.2	16.5	16.5	71.2	71.8	71.8	71.6	0.25	0.23	0.23	9 jam

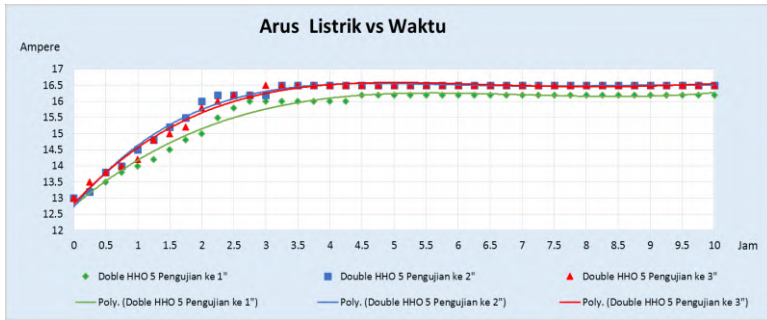
Tabel D.3 Pengujian *Double HHO ON-OFF 5 Menit (Lanjutan 2)*

109	545	12	16.2	16.5	16.5	74	73.5	73.5	73.7	0.25	0.23	0.23	
110	550	12	16.2	16.5	16.5	71.5	71.8	72	71.8	0.25	0.23	0.23	
111	555	12	16.2	16.5	16.5	74.2	73.8	73.8	73.9	0.25	0.23	0.23	
112	560	12	16.2	16.5	16.5	71.5	72	72	71.8	0.23	0.23	0.2	
113	565	12	16.2	16.5	16.5	75	74	73.8	74.3	0.23	0.23	0.2	
114	570	12	16.2	16.5	16.5	71.8	72	72.2	72.0	0.23	0.2	0.2	
115	575	12	16.2	16.5	16.5	75.2	74.2	74	74.5	0.23	0.2	0.2	
116	580	12	16.2	16.5	16.5	71.8	72.2	72.2	72.1	0.23	0.2	0.2	
117	585	12	16.2	16.5	16.5	75.5	74.5	74.2	74.7	0.23	0.2	0.2	
118	590	12	16.2	16.5	16.5	72	72.2	72.5	72.2	0.23	0.2	0.2	
119	595	12	16.2	16.5	16.5	75.8	74.8	74.5	75.0	0.23	0.2	0.2	
120	600	12	16.2	16.5	16.5	72.2	72.5	72.5	72.4	0.23	0.2	0.2	10jam

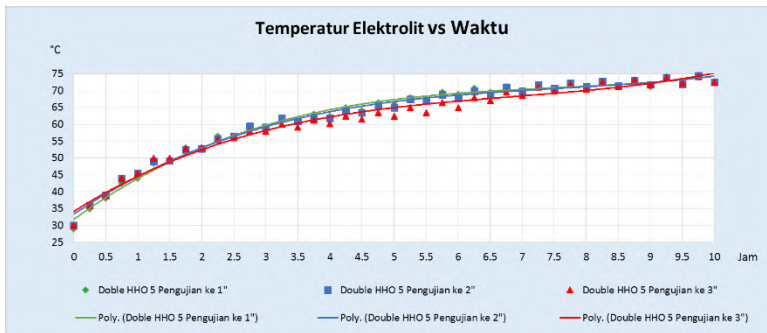
Tabel D.4 Pengujian *Double HHO ON-OFF 5 Menit (Rangkuman dari data per lima menit)*

No	Menit ke	Tegangan (Volt)	Arus listrik (Ampere)			Temperatur Elektrolit (°C)			Avg	Flowrate HHO (L/menit)			Keterangan
			Uji ke 1	Uji ke 2	Uji ke 3	Uji ke 1	Uji ke 2	Uji ke 3		Uji ke 1	Uji ke 2	Uji ke 3	
0	0	12	13	13	13	29	30	30	29.7	0.15	0.15	0.15	0
3	15	12	13.2	13.2	13.5	35	36	36	35.7	0.17	0.17	0.17	0.25
6	30	12	13.5	13.8	13.8	38	39	39	38.7	0.17	0.17	0.17	0.5
9	45	12	13.8	14	14	42.5	44	44	43.5	0.17	0.17	0.17	0.75
12	60	12	14	14.5	14.2	44	45.5	45.5	45.0	0.17	0.2	0.2	1
15	75	12	14.2	14.8	14.8	48.5	49	50	49.2	0.17	0.2	0.2	1.25
18	90	12	14.5	15.2	15	49	49.2	50	49.4	0.2	0.23	0.23	1.5
21	105	12	14.8	15.5	15.2	53	52.5	52.8	52.8	0.2	0.23	0.23	1.75
24	120	12	15	16	15.8	53	52.8	53	52.9	0.23	0.25	0.25	2
27	135	12	15.5	16.2	16	56.5	55.8	55.5	55.9	0.23	0.25	0.25	2.25
30	150	12	15.8	16.2	16.2	56.5	56.5	56	56.3	0.25	0.25	0.25	2.5
33	165	12	16	16.2	16.2	59.5	59.5	58	59.0	0.25	0.25	0.25	2.75
36	180	12	16	16.2	16.5	59	59.2	58	58.7	0.25	0.25	0.25	3
39	195	12	16	16.5	16.5	61.5	61.8	60	61.1	0.25	0.25	0.25	3.25
42	210	12	16	16.5	16.5	61	61	59.2	60.4	0.25	0.25	0.25	3.5
45	225	12	16	16.5	16.5	63	61.5	61.2	61.9	0.25	0.25	0.25	3.75
48	240	12	16	16.5	16.5	62.5	61.8	60.2	61.5	0.25	0.25	0.25	4
51	255	12	16	16.5	16.5	65	64	62.5	63.8	0.25	0.25	0.25	4.25
54	270	12	16.2	16.5	16.5	64	63.5	61.5	63.0	0.25	0.25	0.25	4.5
57	285	12	16.2	16.5	16.5	66.5	65.5	63.5	65.2	0.25	0.25	0.25	4.75
60	300	12	16.2	16.5	16.5	66	65	62.5	64.5	0.25	0.25	0.25	5
63	315	12	16.2	16.5	16.5	68	67.5	65	66.8	0.25	0.25	0.25	5.25
66	330	12	16.2	16.5	16.5	67.5	67	63.5	66.0	0.25	0.25	0.25	5.5
69	345	12	16.2	16.5	16.5	69.5	68.8	66.5	68.3	0.25	0.25	0.25	5.75
72	360	12	16.2	16.5	16.5	69	67.8	65	67.3	0.25	0.25	0.25	6
75	375	12	16.2	16.5	16.5	70.8	69.8	68	69.5	0.25	0.25	0.25	6.25
78	390	12	16.2	16.5	16.5	69.5	68.8	67	68.4	0.25	0.25	0.25	6.5
81	405	12	16.2	16.5	16.5	71.2	71	69.5	70.6	0.25	0.25	0.25	6.75
84	420	12	16.2	16.5	16.5	70	69.8	68.5	69.4	0.25	0.25	0.25	7
87	435	12	16.2	16.5	16.5	71.8	71.8	71	71.5	0.25	0.25	0.25	7.25
90	450	12	16.2	16.5	16.5	70.5	70.8	69.8	70.4	0.25	0.25	0.23	7.5
93	465	12	16.2	16.5	16.5	72.2	72.2	71.8	72.1	0.25	0.23	0.23	7.75
96	480	12	16.2	16.5	16.5	71	71.2	70.5	70.9	0.25	0.23	0.23	8
99	495	12	16.2	16.5	16.5	72.8	72.8	72.5	72.7	0.25	0.23	0.23	8.25
102	510	12	16.2	16.5	16.5	71.2	71.5	71.2	71.3	0.25	0.23	0.23	8.5
105	525	12	16.2	16.5	16.5	73.2	73	73.2	73.1	0.25	0.23	0.23	8.75
108	540	12	16.2	16.5	16.5	71.2	71.8	71.8	71.6	0.25	0.23	0.23	9
111	555	12	16.2	16.5	16.5	74.2	73.8	73.8	73.9	0.25	0.23	0.23	9.25
114	570	12	16.2	16.5	16.5	71.8	72	72.2	72.0	0.23	0.2	0.2	9.5
117	585	12	16.2	16.5	16.5	75.5	74.5	74.2	74.7	0.23	0.2	0.2	9.75
120	600	12	16.2	16.5	16.5	72.2	72.5	72.5	72.4	0.23	0.2	0.2	10

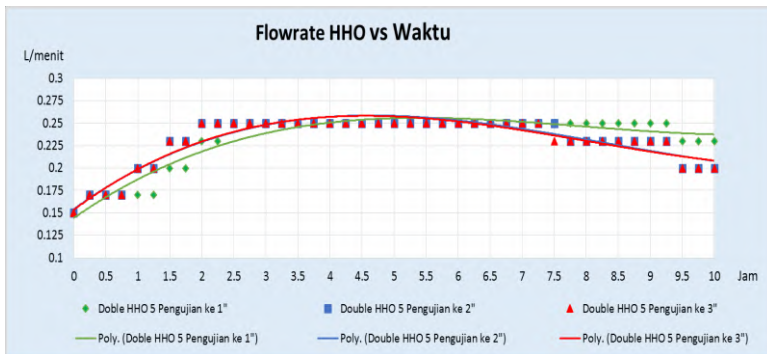
Grafik D.4 Arus Listrik vs Waktu, *Double HHO ON-OFF 5 Menit*



Grafik D.5 Temperatur vs Waktu, *Double HHO ON-OFF 5 Menit*



Grafik D.6 *Flowrate Gas vs Waktu, Double HHO ON-OFF 5 Menit*



Tabel D.5 Pengujian *Double HHO Timing ON-OFF 15 Menit (Data per lima menit)*

PENGUJIAN UNJUK KERJA GENERATOR HHO													
Jenis Pengujian		: Double HHO ON-OFF 15 Menit											
Hari, Tanggal pengujian		: Senin, 01-02-2016 (1)				: Minggu, 13-03-2016 (2)				: Selasa, 15-03-2016 (3)			
Temperatur kamar		: 30 °C (1)				: 30 °C (2)				: 30 °C (3)			
No	Menit ke	Tegangan (Volt)	Arus listrik (Ampere)			Temperatur Elektrolit (°C)				Flowrate HHO (L/menit)			Keterangan
			Uji ke 1	Uji ke 2	Uji ke 3	Uji ke 1	Uji ke 2	Uji ke 3	Avg	Uji ke 1	Uji ke 2	Uji ke 3	
0	0	12	13	13	13	30	30	30	30.0	0.15	0.15	0.15	
1	5	12	13	13.2	13.2	33	33	33	33.0	0.15	0.15	0.15	
2	10	12	13	13.5	13.5	36	36	36	36.0	0.15	0.17	0.17	
3	15	12	13.2	13.8	13.8	39	39	39	39.0	0.17	0.17	0.17	
4	20	12	13	13.2	13.2	38.5	38.5	38.8	38.6	0.17	0.17	0.17	
5	25	12	13.2	13.5	13.5	38	38	38.2	38.1	0.15	0.15	0.15	
6	30	12	13.2	13.8	13.8	38	37.5	38	37.8	0.15	0.17	0.17	
7	35	12	13.2	14	14	41	40.2	40.5	40.6	0.15	0.17	0.17	
8	40	12	13.5	14.2	14.2	43.8	43.2	43	43.3	0.17	0.17	0.17	
9	45	12	13.5	14.5	14.5	46	46	45.2	45.7	0.17	0.17	0.17	
10	50	12	13.2	14	14	45.2	45	44.8	45.0	0.17	0.2	0.2	
11	55	12	13.5	14.2	14.2	44.5	44.2	44.2	44.3	0.17	0.2	0.2	
12	60	12	13.8	14.5	14.5	44	43.5	43.5	43.7	0.2	0.2	0.2	1jam
13	65	12	13.5	14.5	14.5	47	46	45.5	46.2	0.17	0.17	0.17	
14	70	12	13.8	14.8	14.8	49.8	48.5	47.8	48.7	0.17	0.2	0.2	
15	75	12	14	15	15	52.2	51	50.2	51.1	0.17	0.2	0.2	
16	80	12	13.5	14.5	14.5	51.2	50	49.5	50.2	0.2	0.2	0.2	
17	85	12	13.8	14.8	14.8	50.2	49	49	49.4	0.2	0.23	0.23	
18	90	12	14	15	15	49.2	48	48	48.4	0.2	0.23	0.23	
19	95	12	14.2	15	15	51	51	50.2	50.7	0.2	0.23	0.23	
20	100	12	14.5	15.2	15.2	53	53	52.5	52.8	0.2	0.23	0.23	
21	105	12	14.8	15.5	15.5	55.2	55	54	54.7	0.2	0.23	0.23	
22	110	12	14.2	15	15	53.8	54	53.5	53.8	0.2	0.23	0.23	
23	115	12	14.5	15.2	15.2	52.5	53	52.8	52.8	0.2	0.23	0.23	
24	120	12	14.8	15.5	15.5	51	52	52	51.7	0.23	0.25	0.25	2 jam
25	125	12	14.8	15.5	15.5	53.5	54.2	54	53.9	0.2	0.25	0.25	
26	130	12	15	15.8	15.8	56	56	56	56.0	0.2	0.25	0.25	
27	135	12	15.2	16	16	58	58.2	57.5	57.9	0.2	0.25	0.25	
28	140	12	14.8	15.5	15.5	56.5	57	56.5	56.7	0.23	0.25	0.25	
29	145	12	15	15.8	15.8	54.8	56	55.2	55.3	0.2	0.25	0.25	
30	150	12	15.2	16	16	53.5	54.5	54	54.0	0.2	0.25	0.25	
31	155	12	15.2	16	16	56.2	56.5	56	56.2	0.23	0.25	0.25	
32	160	12	15.5	16.2	16.2	58	59	58	58.3	0.23	0.25	0.25	
33	165	12	15.5	16.2	16.2	60	61	60	60.3	0.23	0.25	0.25	
34	170	12	15.2	16	16	58	60	59	59.0	0.23	0.25	0.25	
35	175	12	15.5	16.2	16.2	56.2	59	58	57.7	0.25	0.25	0.25	
36	180	12	15.5	16.2	16.2	55	57.5	57	56.5	0.25	0.25	0.25	3 jam
37	185	12	15.5	16.2	16.2	57.5	59.5	58.5	58.5	0.23	0.25	0.25	
38	190	12	15.5	16.5	16.5	59.8	61.2	60.2	60.4	0.23	0.25	0.25	
39	195	12	15.5	16.5	16.5	61.2	63	62	62.1	0.25	0.25	0.25	
40	200	12	15.5	16.2	16.2	58.8	62	61	60.6	0.23	0.25	0.25	
41	205	12	15.5	16.2	16.2	57	61	60	59.3	0.23	0.25	0.25	
42	210	12	15.8	16.5	16.5	55.5	59.5	58.2	57.7	0.25	0.25	0.25	
43	215	12	15.5	16.2	16.2	58.2	61	60	59.7	0.25	0.25	0.25	
44	220	12	15.8	16.5	16.5	60	63	61.8	61.6	0.23	0.25	0.25	
45	225	12	15.8	16.5	16.5	62	65	63.5	63.5	0.23	0.25	0.25	
46	230	12	15.5	16.2	16.2	60	64	62.2	62.1	0.25	0.25	0.25	
47	235	12	15.8	16.2	16.2	58.2	63	61	60.7	0.25	0.25	0.25	
48	240	12	15.8	16.5	16.5	57	61	59.5	59.2	0.25	0.25	0.25	4 jam

Tabel D.5 Pengujian *Double HHO ON-OFF 15 Menit (Lanjutan 1)*

49	245	12	15.8	16.2	16.2	59.5	62.5	62	61.3	0.23	0.25	0.25	
50	250	12	16	16.2	16.2	61	64.2	63.2	62.8	0.23	0.25	0.25	
51	255	12	16	16.5	16.5	62.5	66	64.8	64.4	0.25	0.25	0.25	
52	260	12	15.8	16.2	16.2	61	65	63.8	63.3	0.25	0.25	0.25	
53	265	12	15.8	16.2	16.2	59.2	64	62	61.7	0.25	0.25	0.25	
54	270	12	16	16.5	16.5	57.8	61.5	60.5	59.9	0.25	0.25	0.25	
55	275	12	15.8	16.2	16.2	59.5	63	62	61.5	0.25	0.25	0.25	
56	280	12	15.8	16.2	16.2	61.5	64.8	63.5	63.3	0.23	0.25	0.25	
57	285	12	16	16.5	16.5	63	66.2	65.5	64.9	0.25	0.25	0.25	
58	290	12	15.8	16.2	16.2	61.5	65	64.8	63.8	0.25	0.25	0.25	
59	295	12	15.8	16.2	16.2	60	64	63	62.3	0.25	0.25	0.25	
60	300	12	16	16.5	16.5	59	61.8	61	60.6	0.25	0.25	0.25	5 jam
61	305	12	15.8	16.5	16.5	61.2	63.2	62	62.1	0.23	0.25	0.25	
62	310	12	16	16.5	16.5	62	65	64	63.7	0.25	0.25	0.25	
63	315	12	16	16.5	16.5	63.5	66.5	66	65.3	0.25	0.25	0.25	
64	320	12	16	16.5	16.5	62	65.5	65	64.2	0.25	0.25	0.25	
65	325	12	16	16.5	16.5	61	64	63.5	62.8	0.25	0.25	0.25	
66	330	12	16	16.5	16.5	59.2	62	61.5	60.9	0.25	0.25	0.25	
67	335	12	16	16.5	16.5	60.5	63.5	63	62.3	0.25	0.25	0.25	
68	340	12	16	16.5	16.5	62.2	65.2	64.5	64.0	0.25	0.25	0.25	
69	345	12	16	16.5	16.5	64	66.5	66.2	65.6	0.25	0.25	0.25	
70	350	12	16	16.5	16.5	62.5	65.5	65.5	64.5	0.25	0.25	0.25	
71	355	12	16	16.5	16.5	61.5	64.2	64	63.2	0.25	0.25	0.25	
72	360	12	16	16.5	16.5	59.5	62.2	62	61.2	0.25	0.25	0.25	6 jam
73	365	12	16	16.5	16.5	60.5	63.8	63.5	62.6	0.25	0.25	0.25	
74	370	12	16	16.5	16.5	62.2	65.2	65	64.1	0.25	0.25	0.25	
75	375	12	16	16.5	16.5	64.2	66.8	66.5	65.8	0.25	0.25	0.25	
76	380	12	16	16.5	16.5	63	65.5	65.5	64.7	0.25	0.25	0.25	
77	385	12	16	16.5	16.5	61.5	64.5	64.5	63.5	0.25	0.25	0.25	
78	390	12	16	16.5	16.5	59.5	62.2	62.2	61.3	0.25	0.25	0.25	
79	395	12	16	16.5	16.5	60.8	63.8	63.8	62.8	0.25	0.25	0.25	
80	400	12	16	16.5	16.5	62.5	65.5	65.5	64.5	0.25	0.25	0.25	
81	405	12	16	16.5	16.5	64.5	67	67	66.2	0.25	0.25	0.25	
82	410	12	16	16.5	16.5	63.5	65.5	65.5	64.8	0.25	0.25	0.25	
83	415	12	16	16.5	16.5	62.5	64.8	64.8	64.0	0.25	0.25	0.25	
84	420	12	16	16.5	16.5	60	62.5	62.5	61.7	0.25	0.25	0.25	7 jam
85	425	12	16	16.5	16.5	61.5	64	64	63.2	0.25	0.25	0.25	
86	430	12	16	16.5	16.5	63.2	65.5	65.5	64.7	0.25	0.25	0.25	
87	435	12	16	16.5	16.5	65	67.2	67.5	66.6	0.25	0.25	0.25	
88	440	12	16	16.5	16.5	64	66	66.2	65.4	0.25	0.23	0.23	
89	445	12	16	16.5	16.5	62.5	65	65	64.2	0.25	0.23	0.23	
90	450	12	16	16.5	16.5	60.2	62.8	63	62.0	0.25	0.23	0.23	
91	455	12	16	16.5	16.5	62	64.2	64.5	63.6	0.25	0.23	0.23	
92	460	12	16	16.5	16.5	63.5	65.8	66	65.1	0.25	0.23	0.23	
93	465	12	16	16.5	16.5	65.5	67.5	68	67.0	0.25	0.23	0.23	
94	470	12	16.2	16.5	16.5	64.5	66	67	65.8	0.25	0.23	0.23	
95	475	12	16.2	16.5	16.5	63.5	65	65.2	64.6	0.25	0.23	0.23	
96	480	12	16.2	16.5	16.5	60.5	63	63.2	62.2	0.25	0.23	0.23	8 jam
97	485	12	16.2	16.5	16.5	62	64.5	64.8	63.8	0.25	0.23	0.23	
98	490	12	16.2	16.5	16.5	63.5	66	66.5	65.3	0.25	0.23	0.23	
99	495	12	16.2	16.5	16.5	65.8	67.8	68.2	67.3	0.25	0.23	0.23	
100	500	12	16.2	16.5	16.5	65	67	67	66.3	0.25	0.23	0.23	
101	505	12	16.2	16.5	16.5	63	66	66	65.0	0.25	0.23	0.23	
102	510	12	16.2	16.5	16.5	60.5	63.2	63.5	62.4	0.25	0.23	0.23	
103	515	12	16.2	16.5	16.5	62.5	64.8	64.8	64.0	0.25	0.23	0.23	
104	520	12	16.2	16.5	16.5	64	66.2	66.2	65.5	0.25	0.23	0.23	
105	525	12	16.2	16.5	16.5	66.5	68	68.5	67.7	0.25	0.23	0.23	
106	530	12	16.2	16.5	16.5	65	67	67.2	66.4	0.25	0.23	0.23	
107	535	12	16.2	16.5	16.5	63.5	66	66	65.2	0.25	0.23	0.23	
108	540	12	16.2	16.5	16.5	61	63.5	63.8	62.8	0.25	0.23	0.23	9 jam

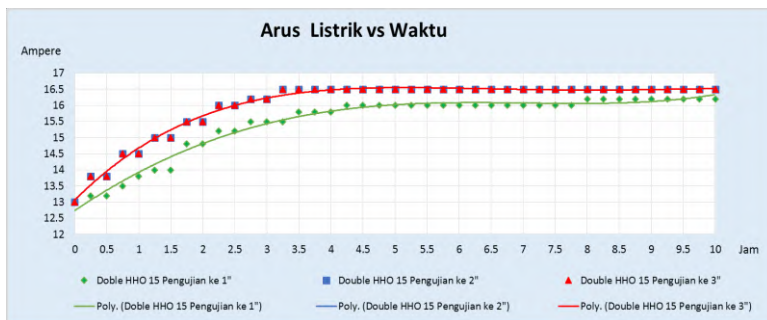
Tabel D.5 Pengujian *Double HHO ON-OFF 15 Menit (Lanjutan 2)*

109	545	12	16.2	16.5	16.5	63	65	65.2	64.4	0.23	0.23	0.23	
110	550	12	16.2	16.5	16.5	65	66.5	66.5	66.0	0.23	0.23	0.23	
111	555	12	16.2	16.5	16.5	67.5	68.5	68.8	68.3	0.23	0.23	0.23	
112	560	12	16.2	16.5	16.5	66.5	67.5	67.8	67.3	0.23	0.2	0.2	
113	565	12	16.2	16.5	16.5	65	66.5	66.8	66.1	0.23	0.2	0.2	
114	570	12	16.2	16.5	16.5	62	63.8	64	63.3	0.23	0.2	0.2	
115	575	12	16.2	16.5	16.5	64	65.2	65.5	64.9	0.23	0.2	0.2	
116	580	12	16.2	16.5	16.5	66	67.5	67.2	66.9	0.23	0.2	0.2	
117	585	12	16.2	16.5	16.5	68.5	68.8	69.2	68.8	0.23	0.2	0.2	
118	590	12	16.2	16.5	16.5	66.5	67	68	67.2	0.23	0.2	0.2	
119	595	12	16.2	16.5	16.5	65	66.5	66.8	66.1	0.23	0.2	0.2	
120	600	12	16.2	16.5	16.5	63	64	64.5	63.8	0.23	0.2	0.2	10jam

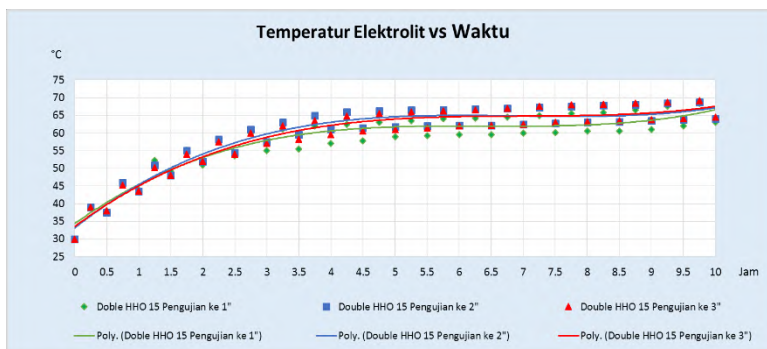
Tabel D.6 Pengujian *Double HHO Timing ON-OFF 15 Menit (Rangkuman data per lima menit)*

No	Menit ke	Tegangan (Volt)	Arus listrik (Ampere)			Temperatur Elektrolit (°C)			Avg	Flowrate HHO (L/menit)			Keterangan
			Uji ke 1	Uji ke 2	Uji ke 3	Uji ke 1	Uji ke 2	Uji ke 3		Uji ke 1	Uji ke 2	Uji ke 3	
0	0	12	13	13	13	30	30	30	30.0	0.15	0.15	0.15	0
3	15	12	13.2	13.8	13.8	39	39	39	39.0	0.17	0.17	0.17	0.25
6	30	12	13.2	13.8	13.8	38	37.5	38	37.8	0.15	0.17	0.17	0.5
9	45	12	13.5	14.5	14.5	46	46	45.2	45.7	0.17	0.17	0.17	0.75
12	60	12	13.8	14.5	14.5	44	43.5	43.5	43.7	0.2	0.2	0.2	1
15	75	12	14	15	15	52.2	51	50.2	51.1	0.17	0.2	0.2	1.25
18	90	12	14	15	15	49.2	48	48	48.4	0.2	0.23	0.23	1.5
21	105	12	14.8	15.5	15.5	55.2	55	54	54.7	0.2	0.23	0.23	1.75
24	120	12	14.8	15.5	15.5	51	52	52	51.7	0.23	0.25	0.25	2
27	135	12	15.2	16	16	58	58.2	57.5	57.9	0.2	0.25	0.25	2.25
30	150	12	15.2	16	16	53.5	54.5	54	54.0	0.2	0.25	0.25	2.5
33	165	12	15.5	16.2	16.2	60	61	60	60.3	0.23	0.25	0.25	2.75
36	180	12	15.5	16.2	16.2	55	57.5	57	56.5	0.25	0.25	0.25	3
39	195	12	15.5	16.5	16.5	61.2	63	62	62.1	0.25	0.25	0.25	3.25
42	210	12	15.8	16.5	16.5	55.5	59.5	58.2	57.7	0.25	0.25	0.25	3.5
45	225	12	15.8	16.5	16.5	62	65	63.5	63.5	0.23	0.25	0.25	3.75
48	240	12	15.8	16.5	16.5	57	61	59.5	59.2	0.25	0.25	0.25	4
51	255	12	16	16.5	16.5	62.5	66	64.8	64.4	0.25	0.25	0.25	4.25
54	270	12	16	16.5	16.5	57.8	61.5	60.5	59.9	0.25	0.25	0.25	4.5
57	285	12	16	16.5	16.5	63	66.2	65.5	64.9	0.25	0.25	0.25	4.75
60	300	12	16	16.5	16.5	59	61.8	61	60.6	0.25	0.25	0.25	5
63	315	12	16	16.5	16.5	63.5	66.5	66	65.3	0.25	0.25	0.25	5.25
66	330	12	16	16.5	16.5	59.2	62	61.5	60.9	0.25	0.25	0.25	5.5
69	345	12	16	16.5	16.5	64	66.5	66.2	65.6	0.25	0.25	0.25	5.75
72	360	12	16	16.5	16.5	59.5	62.2	62	61.2	0.25	0.25	0.25	6
75	375	12	16	16.5	16.5	64.2	66.8	66.5	65.8	0.25	0.25	0.25	6.25
78	390	12	16	16.5	16.5	59.5	62.2	62.2	61.3	0.25	0.25	0.25	6.5
81	405	12	16	16.5	16.5	64.5	67	67	66.2	0.25	0.25	0.25	6.75
84	420	12	16	16.5	16.5	60	62.5	62.5	61.7	0.25	0.25	0.25	7
87	435	12	16	16.5	16.5	65	67.2	67.5	66.6	0.25	0.25	0.25	7.25
90	450	12	16	16.5	16.5	60.2	62.8	63	62.0	0.25	0.23	0.23	7.5
93	465	12	16	16.5	16.5	65.5	67.5	68	67.0	0.25	0.23	0.23	7.75
96	480	12	16.2	16.5	16.5	60.5	63	63.2	62.2	0.25	0.23	0.23	8
99	495	12	16.2	16.5	16.5	65.8	67.8	68.2	67.3	0.25	0.23	0.23	8.25
102	510	12	16.2	16.5	16.5	60.5	63.2	63.5	62.4	0.25	0.23	0.23	8.5
105	525	12	16.2	16.5	16.5	66.5	68	68.5	67.7	0.25	0.23	0.23	8.75
108	540	12	16.2	16.5	16.5	61	63.5	63.8	62.8	0.25	0.23	0.23	9
111	555	12	16.2	16.5	16.5	67.5	68.5	68.8	68.3	0.23	0.23	0.23	9.25
114	570	12	16.2	16.5	16.5	62	63.8	64	63.3	0.23	0.2	0.2	9.5
117	585	12	16.2	16.5	16.5	68.5	68.8	69.2	68.8	0.23	0.2	0.2	9.75
120	600	12	16.2	16.5	16.5	63	64	64.5	63.8	0.23	0.2	0.2	10

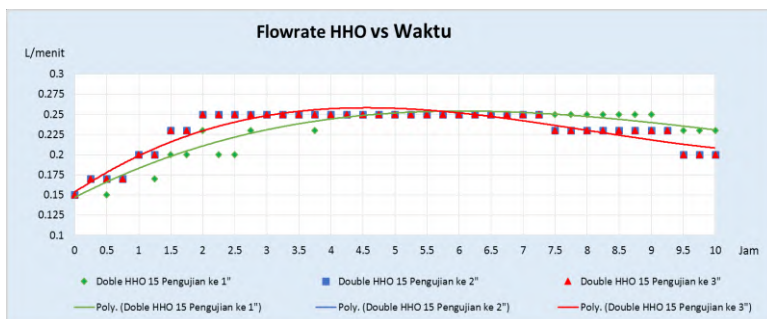
Grafik D.7 Arus Listrik vs Waktu, *Double HHO ON-OFF 15 Menit*



Grafik D.8 Temperatur vs Waktu, *Double HHO ON-OFF 15 Menit*



Grafik D.9 *Flowrate vs Waktu, Double HHO ON-OFF 15 Menit*



Tabel D.7 Pengujian *Double HHO Timing ON-OFF 20 Menit (Data per lima menit)*

PENGUJIAN UNJUK KERJA GENERATOR HHO													
Jenis Pengujian		: Double HHO ON-OFF 20 Menit											
Hari, Tanggal pengujian		: Sabtu, 13-02-2016 (1)				: Rabu, 16-03-2016 (2)				: Jumat, 18-03-2016 (3)			
Temperatur kamar		: 30 °C (1)				: 30 °C (2)				: 30 °C (3)			
No	Menit ke	Tegangan (Volt)	Arus listrik (Ampere)			Temperatur Elektrolit (°C)				Flowrate HHO (L/menit)			Keterangan
			Uji ke 1	Uji ke 2	Uji ke 3	Uji ke 1	Uji ke 2	Uji ke 3	Avg	Uji ke 1	Uji ke 2	Uji ke 3	
0	0	12	13	13	13	30	30	30	30.0	0.15	0.15	0.15	
1	5	12	13	13.2	13.2	33	33	33	33.0	0.15	0.15	0.15	
2	10	12	13.2	13.5	13.5	36	36	36	36.0	0.15	0.17	0.17	
3	15	12	13.5	13.8	13.8	39	39	39	39.0	0.17	0.17	0.17	
4	20	12	13.5	14	14	42	42	42	42.0	0.17	0.17	0.17	
5	25	12	13	13.2	13.2	41	41.5	41.5	41.3	0.15	0.15	0.15	
6	30	12	13	13.5	13.5	40.5	41	41	40.8	0.15	0.17	0.17	
7	35	12	13.2	13.8	13.8	40	40.5	40.8	40.4	0.15	0.17	0.17	
8	40	12	13.5	14	14	39.5	40	40	39.8	0.17	0.17	0.17	
9	45	12	13.5	14.2	14.2	42.5	42.5	42.2	42.4	0.17	0.17	0.17	
10	50	12	14	14.5	14.5	45	45	45	45.0	0.17	0.2	0.2	
11	55	12	14.2	14.8	14.8	47.8	47.5	47.5	47.6	0.17	0.2	0.2	
12	60	12	14.5	15	15	50.5	50	50	50.2	0.2	0.2	0.2	1jam
13	65	12	13.5	14.2	14.2	50	49.5	49.5	49.7	0.17	0.17	0.17	
14	70	12	14	14.5	14.5	49.5	49	49	49.2	0.17	0.2	0.2	
15	75	12	14.2	14.8	14.8	48	48.5	48	48.2	0.17	0.2	0.2	
16	80	12	14.5	15	15	47.5	47.2	47	47.2	0.2	0.2	0.2	
17	85	12	14.5	15.2	15	49.5	49.8	49.5	49.6	0.2	0.23	0.23	
18	90	12	14.8	15.5	15.2	52	52	51.5	51.8	0.2	0.23	0.23	
19	95	12	14.8	15.8	15.5	54	54	53.2	53.7	0.2	0.23	0.23	
20	100	12	15	16	15.8	56	55.5	55.2	55.6	0.2	0.23	0.23	
21	105	12	14.5	15.2	15	55	54.5	54.5	54.7	0.2	0.23	0.23	
22	110	12	14.5	15.5	15.2	53.5	53.5	54	53.7	0.2	0.23	0.23	
23	115	12	14.8	15.8	15.5	52.5	52.5	53	52.7	0.2	0.23	0.23	
24	120	12	15.2	16	15.8	51	50.8	52	51.3	0.23	0.25	0.25	2 jam
25	125	12	15	16	15.5	53.5	52.8	54	53.4	0.2	0.25	0.25	
26	130	12	15	16.2	15.8	55.5	54.8	55.5	55.3	0.2	0.25	0.25	
27	135	12	15	16.5	16	57.5	56.8	57.5	57.3	0.2	0.25	0.25	
28	140	12	15.2	16.5	16.2	59.5	58.8	59.5	59.3	0.23	0.25	0.25	
29	145	12	15	16.5	15.5	58	57	58.5	57.8	0.2	0.25	0.25	
30	150	12	15	16.5	15.8	56.5	56	57.5	56.7	0.2	0.25	0.25	
31	155	12	15.2	16.5	16	55	55	56.5	55.5	0.23	0.25	0.25	
32	160	12	15	16.5	16.2	54	53.5	54	53.8	0.23	0.25	0.25	
33	165	12	15.2	16.5	16	56	55.5	56	55.8	0.23	0.25	0.25	
34	170	12	15.2	16.5	16.2	58	58	58	58.0	0.23	0.25	0.25	
35	175	12	15.5	16.5	16.5	60	60	59.5	59.8	0.25	0.25	0.25	
36	180	12	15.5	16.5	16.5	62	61.5	61	61.5	0.25	0.25	0.25	3 jam
37	185	12	15	16.5	16.5	60.5	60.2	60	60.2	0.23	0.25	0.25	
38	190	12	15.2	16.5	16.5	58.8	59.5	59	59.1	0.23	0.25	0.25	
39	195	12	15.5	16.5	16.5	57	58	57.2	57.4	0.25	0.25	0.25	
40	200	12	15	16.5	16.5	56	56	55.5	55.8	0.23	0.25	0.25	
41	205	12	15.2	16.5	16.5	58	58	57.8	57.9	0.23	0.25	0.25	
42	210	12	15.5	16.5	16.5	60	60	59.8	59.9	0.25	0.25	0.25	
43	215	12	15.8	16.5	16.5	62	61.8	62	61.9	0.25	0.25	0.25	
44	220	12	15.2	16.5	16.5	64	63.5	63.5	63.7	0.23	0.25	0.25	
45	225	12	15.2	16.5	16.5	62.5	61.8	62.2	62.2	0.23	0.25	0.25	
46	230	12	15.5	16.5	16.5	60.5	60	61	60.5	0.25	0.25	0.25	
47	235	12	15.8	16.5	16.5	58.8	59	59.5	59.1	0.25	0.25	0.25	
48	240	12	15.2	16.5	16.5	57.5	57	57.5	57.3	0.25	0.25	0.25	4 jam



Tabel D.7 Pengujian *Double HHO ON-OFF* 20 Menit (*Lanjutan 1*)

49	245	12	15.2	16.5	16.5	59.5	59	59.5	59.3	0.23	0.25	0.25	
50	250	12	15.2	16.5	16.5	61.2	61	61.2	61.1	0.23	0.25	0.25	
51	255	12	15.5	16.5	16.5	63	63	63	63.0	0.25	0.25	0.25	
52	260	12	15.5	16.5	16.5	65	64.5	65	64.8	0.25	0.25	0.25	
53	265	12	15.5	16.5	16.5	63.5	63.5	63.5	63.5	0.25	0.25	0.25	
54	270	12	15.8	16.5	16.5	62	62	62	62.0	0.25	0.25	0.25	
55	275	12	15.8	16.5	16.5	60.5	60	60.5	60.3	0.25	0.25	0.25	
56	280	12	15.2	16.5	16.5	58	57.5	58	57.8	0.23	0.25	0.25	
57	285	12	15.5	16.5	16.5	60.2	60	60.2	60.1	0.25	0.25	0.25	
58	290	12	15.8	16.5	16.5	62	62	62	62.0	0.25	0.25	0.25	
59	295	12	15.8	16.5	16.5	64	64	64	64.0	0.25	0.25	0.25	
60	300	12	15.8	16.5	16.5	65.8	65.2	65.5	65.5	0.25	0.25	0.25	5 jam
61	305	12	15.2	16.5	16.5	64	64	64	64.0	0.23	0.25	0.25	
62	310	12	15.5	16.5	16.5	62.5	62.5	62.5	62.5	0.25	0.25	0.25	
63	315	12	15.5	16.5	16.5	61	61	61	61.0	0.25	0.25	0.25	
64	320	12	15.8	16.5	16.5	59.5	59.5	59.2	59.4	0.25	0.25	0.25	
65	325	12	15.2	16.5	16.5	61.5	61.5	61.2	61.4	0.25	0.25	0.25	
66	330	12	15.5	16.5	16.5	63.5	63.5	63.5	63.5	0.25	0.25	0.25	
67	335	12	15.5	16.5	16.5	65	65	65.2	65.1	0.25	0.25	0.25	
68	340	12	15.8	16.5	16.5	66.2	66.2	66.5	66.3	0.25	0.25	0.25	
69	345	12	15.5	16.5	16.5	65	65	65	65.0	0.25	0.25	0.25	
70	350	12	15.5	16.5	16.5	63.5	63.5	64	63.7	0.25	0.25	0.25	
71	355	12	15.8	16.5	16.5	62	62	63	62.3	0.25	0.25	0.25	
72	360	12	15.8	16.5	16.5	59.5	59.5	61	60.0	0.25	0.25	0.25	6 jam
73	365	12	15.5	16.5	16.5	61.5	61.5	62.5	61.8	0.25	0.25	0.25	
74	370	12	15.5	16.5	16.5	63.5	63.5	64.5	63.8	0.25	0.25	0.25	
75	375	12	15.8	16.5	16.5	65.2	65.2	65.8	65.4	0.25	0.25	0.23	
76	380	12	15.8	16.5	16.5	66.5	66.5	67	66.7	0.25	0.25	0.23	
77	385	12	15.5	16.5	16.5	65.5	65.5	66	65.7	0.25	0.25	0.23	
78	390	12	15.5	16.5	16.5	63.8	64	65	64.3	0.25	0.25	0.25	
79	395	12	15.8	16.5	16.5	62.5	62.2	63.2	62.6	0.25	0.25	0.25	
80	400	12	15.8	16.5	16.5	60.2	60	61.2	60.5	0.25	0.25	0.23	
81	405	12	15.5	16.5	16.5	61.8	61.8	62	61.9	0.25	0.25	0.23	
82	410	12	15.5	16.5	16.5	63.5	63.2	63.5	63.4	0.25	0.25	0.23	
83	415	12	15.8	16.5	16.5	65.2	65	65.5	65.2	0.25	0.25	0.23	
84	420	12	15.8	16.5	16.5	67	66.8	67.2	67.0	0.25	0.25	0.23	7 jam
85	425	12	15.5	16.5	16.5	65.5	65.5	66	65.7	0.25	0.23	0.23	
86	430	12	15.5	16.5	16.5	64	64	64.5	64.2	0.25	0.23	0.23	
87	435	12	15.8	16.5	16.5	63	63	63.5	63.2	0.25	0.23	0.23	
88	440	12	15.8	16.5	16.5	60.5	60.5	61.5	60.8	0.25	0.25	0.23	
89	445	12	15.5	16.5	16.5	62	62	62.5	62.2	0.25	0.25	0.23	
90	450	12	15.5	16.5	16.5	63.8	63.8	64	63.9	0.25	0.23	0.23	
91	455	12	15.8	16.5	16.5	65.5	65.5	65.8	65.6	0.25	0.23	0.23	
92	460	12	15.8	16.5	16.5	67.2	67.2	67.8	67.4	0.25	0.23	0.23	
93	465	12	15.5	16.5	16.5	66	66.2	66.5	66.2	0.25	0.23	0.23	
94	470	12	15.5	16.5	16.5	64.8	64.5	65.2	64.8	0.25	0.23	0.23	
95	475	12	15.8	16.5	16.5	63.5	63.5	64	63.7	0.25	0.23	0.23	
96	480	12	15.8	16.5	16.5	61	60.8	61.8	61.2	0.25	0.23	0.23	8 jam
97	485	12	15.5	16.5	16.5	62.2	62.2	62.8	62.4	0.25	0.23	0.23	
98	490	12	15.5	16.5	16.5	64.2	64.2	64.8	64.4	0.25	0.23	0.23	
99	495	12	15.8	16.5	16.5	66.2	66.2	66.5	66.3	0.25	0.23	0.23	
100	500	12	15.8	16.5	16.5	67.5	67.5	68	67.7	0.25	0.23	0.23	
101	505	12	15.5	16.5	16.5	66.5	66.5	67	66.7	0.25	0.23	0.23	
102	510	12	15.5	16.5	16.5	64.5	64.5	66	65.0	0.25	0.23	0.23	
103	515	12	15.8	16.5	16.5	63.5	63.5	64.5	63.8	0.25	0.23	0.23	
104	520	12	15.8	16.5	16.5	61.2	61.5	62	61.6	0.25	0.23	0.23	
105	525	12	15.5	16.5	16.5	62.8	62.5	63	62.8	0.25	0.23	0.23	
106	530	12	15.5	16.5	16.5	64.2	64.5	65	64.6	0.25	0.23	0.23	
107	535	12	15.8	16.5	16.5	66	66.2	66.2	66.1	0.25	0.23	0.23	
108	540	12	16	16.5	16.5	67.8	68	68.2	68.0	0.25	0.2	0.2	9 jam

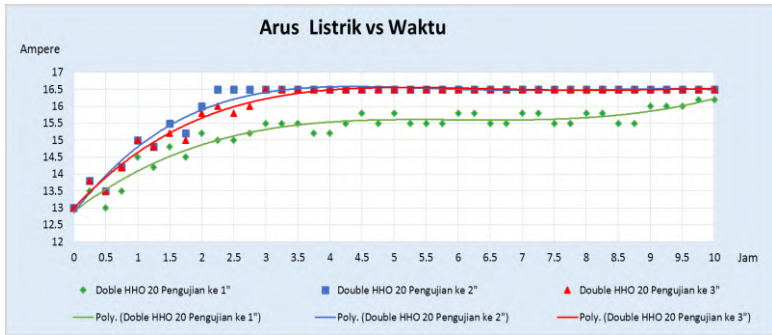
Tabel D.7 Pengujian *Double HHO ON-OFF 20 Menit (Lanjutan 2)*

109	545	12	16	16.5	16.5	66.8	67	67.2	67.0	0.23	0.23	0.23	
110	550	12	16	16.5	16.5	65.5	66	66.2	65.9	0.23	0.2	0.2	
111	555	12	16	16.5	16.5	64.5	64.8	64.8	64.7	0.23	0.2	0.2	
112	560	12	16	16.5	16.5	61.5	62	62.2	61.9	0.23	0.2	0.2	
113	565	12	16	16.5	16.5	63	63.2	63.5	63.2	0.23	0.2	0.2	
114	570	12	16	16.5	16.5	64.5	64.5	64.8	64.6	0.23	0.2	0.2	
115	575	12	16.2	16.5	16.5	66.2	66.5	66.8	66.5	0.23	0.2	0.2	
116	580	12	16.2	16.5	16.5	68	68.2	68.5	68.2	0.23	0.2	0.2	
117	585	12	16.2	16.5	16.5	67	67	67.2	67.1	0.23	0.2	0.2	
118	590	12	16.2	16.5	16.5	66	66	66	66.0	0.23	0.2	0.2	
119	595	12	16.2	16.5	16.5	64.8	65	65	64.9	0.23	0.2	0.2	
120	600	12	16.2	16.5	16.5	61.8	62.5	62.5	62.3	0.23	0.2	0.2	10 jam

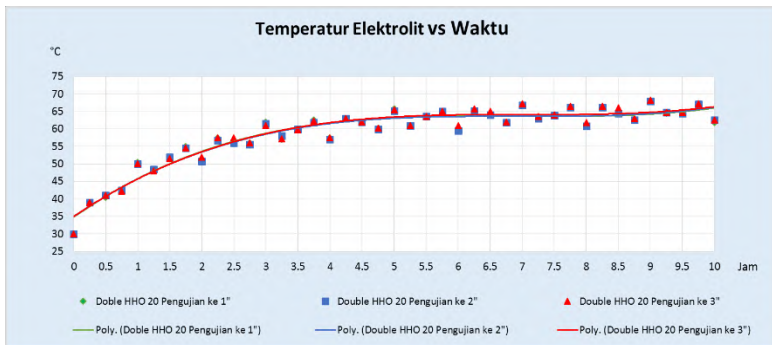
Tabel D.8 Pengujian *Double HHO Timing ON-OFF 20 Menit (Rangkuman data per lima menit)*

No	Menit ke	Tegangan (Volt)	Arus listrik (Ampere)			Temperatur Elektrolit (°C)				Flowrate HHO (L/menit)			Keterangan
			Uji ke 1	Uji ke 2	Uji ke 3	Uji ke 1	Uji ke 2	Uji ke 3	Avg	Uji ke 1	Uji ke 2	Uji ke 3	
0	0	12	13	13	13	30	30	30	30.0	0.15	0.15	0.15	0
3	15	12	13.5	13.8	13.8	39	39	39	39.0	0.17	0.17	0.17	0.25
6	30	12	13	13.5	13.5	40.5	41	41	40.8	0.15	0.17	0.17	0.5
9	45	12	13.5	14.2	14.2	42.5	42.5	42.2	42.4	0.17	0.17	0.17	0.75
12	60	12	14.5	15	15	50.5	50	50	50.2	0.2	0.2	0.2	1
15	75	12	14.2	14.8	14.8	48	48.5	48	48.2	0.17	0.2	0.2	1.25
18	90	12	14.8	15.5	15.2	52	52	51.5	51.8	0.2	0.23	0.23	1.5
21	105	12	14.5	15.2	15	55	54.5	54.5	54.7	0.2	0.23	0.23	1.75
24	120	12	15.2	16	15.8	51	50.8	52	51.3	0.23	0.25	0.25	2
27	135	12	15	16.5	16	57.5	56.8	57.5	57.3	0.2	0.25	0.25	2.25
30	150	12	15	16.5	15.8	56.5	56	57.5	56.7	0.2	0.25	0.25	2.5
33	165	12	15.2	16.5	16	56	55.5	56	55.8	0.23	0.25	0.25	2.75
36	180	12	15.5	16.5	16.5	62	61.5	61	61.5	0.25	0.25	0.25	3
39	195	12	15.5	16.5	16.5	57	58	57.2	57.4	0.25	0.25	0.25	3.25
42	210	12	15.5	16.5	16.5	60	60	59.8	59.9	0.25	0.25	0.25	3.5
45	225	12	15.2	16.5	16.5	62.5	61.8	62.2	62.2	0.23	0.25	0.25	3.75
48	240	12	15.2	16.5	16.5	57.5	57	57.5	57.3	0.25	0.25	0.25	4
51	255	12	15.5	16.5	16.5	63	63	63	63.0	0.25	0.25	0.25	4.25
54	270	12	15.8	16.5	16.5	62	62	62	62.0	0.25	0.25	0.25	4.5
57	285	12	15.5	16.5	16.5	60.2	60	60.2	60.1	0.25	0.25	0.25	4.75
60	300	12	15.8	16.5	16.5	65.8	65.2	65.5	65.5	0.25	0.25	0.25	5
63	315	12	15.5	16.5	16.5	61	61	61	61.0	0.25	0.25	0.25	5.25
66	330	12	15.5	16.5	16.5	63.5	63.5	63.5	63.5	0.25	0.25	0.25	5.5
69	345	12	15.5	16.5	16.5	65	65	65	65.0	0.25	0.25	0.25	5.75
72	360	12	15.8	16.5	16.5	59.5	59.5	61	60.0	0.25	0.25	0.25	6
75	375	12	15.8	16.5	16.5	65.2	65.2	65.8	65.4	0.25	0.25	0.23	6.25
78	390	12	15.5	16.5	16.5	63.8	64	65	64.3	0.25	0.25	0.25	6.5
81	405	12	15.5	16.5	16.5	61.8	61.8	62	61.9	0.25	0.25	0.23	6.75
84	420	12	15.8	16.5	16.5	67	66.8	67.2	67.0	0.25	0.25	0.23	7
87	435	12	15.8	16.5	16.5	63	63	63.5	63.2	0.25	0.23	0.23	7.25
90	450	12	15.5	16.5	16.5	63.8	63.8	64	63.9	0.25	0.23	0.23	7.5
93	465	12	15.5	16.5	16.5	66	66.2	66.5	66.2	0.25	0.23	0.23	7.75
96	480	12	15.8	16.5	16.5	61	60.8	61.8	61.2	0.25	0.23	0.23	8
99	495	12	15.8	16.5	16.5	66.2	66.2	66.5	66.3	0.25	0.23	0.23	8.25
102	510	12	15.5	16.5	16.5	64.5	64.5	66	65.0	0.25	0.23	0.23	8.5
105	525	12	15.5	16.5	16.5	62.8	62.5	63	62.8	0.25	0.23	0.23	8.75
108	540	12	16	16.5	16.5	67.8	68	68.2	68.0	0.25	0.2	0.2	9
111	555	12	16	16.5	16.5	64.5	64.8	64.8	64.7	0.23	0.2	0.2	9.25
114	570	12	16	16.5	16.5	64.5	64.5	64.8	64.6	0.23	0.2	0.2	9.5
117	585	12	16.2	16.5	16.5	67	67	67.2	67.1	0.23	0.2	0.2	9.75
120	600	12	16.2	16.5	16.5	61.8	62.5	62.5	62.3	0.23	0.2	0.2	10

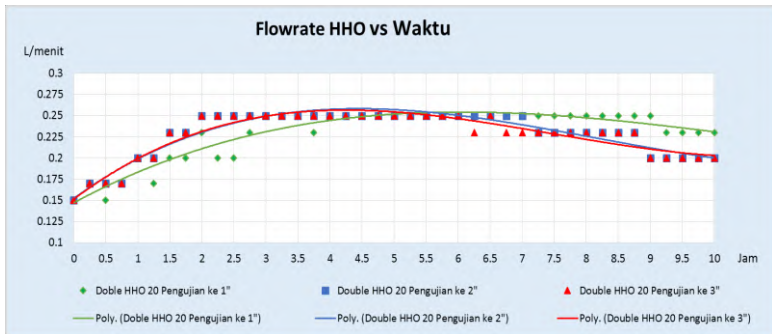
Grafik D.10 Arus Listrik vs Waktu, *Double HHO ON-OFF 20 Menit*



Grafik D.11 Temperatur vs Waktu, *Double HHO ON-OFF 20 Menit*



Grafik D.12 *Flowrate* vs Waktu, *Double HHO ON-OFF 20 Menit*



## Lampiran E

### DATA ANALISIS (RATA-RATA DARI 3X PENGUJIAN)

Tabel E.1 Data Rata-rata Pengujian *Single HHO*

DATA ANALISIS (RATA-RATA DARI TIGA KALI PENGUJIAN)									
jam	Menit ke	Tegangan (Volt)	arus listrik (Ampere)	Daya (Watt)	Temperatur elektrolit (°C)	Flowrate HHO (Liter/menit)	Flowrate HHO (Mol/detik)	Efisiensi Generator (%)	Penurunan suhu (ΔT ON-OFF) (%)
0	0	12	13.0	156	29.7	0.15	1.00E-04	18.38	0.00
0.25	15	12	13.7	164.4	39.0	0.17	1.14E-04	19.76	
0.5	30	12	14.5	174	46.8	0.20	1.34E-04	21.97	
0.75	45	12	15.1	180.8	53.1	0.21	1.40E-04	22.20	
1	60	12	15.7	188	59.3	0.23	1.54E-04	23.38	
1.25	75	12	15.8	190	63.6	0.24	1.58E-04	23.80	0.00
1.5	90	12	16.0	191.6	67.6	0.24	1.63E-04	24.27	
1.75	105	12	16.2	194	70.9	0.25	1.67E-04	24.63	
2	120	12	16.3	196	73.9	0.25	1.67E-04	24.38	
2.075	125	12	16.3	196	74.8	0.25	1.67E-04	24.38	
2.12	130	12	16.3	196	75.5	0.25	1.67E-04	24.38	
2.25	135	12	16.5	198	75.5	0.25	1.67E-04	24.13	
AVERAGE			15.5	185.4		0.22	1.50E-04	23.0	0.00

Tabel E.2 Data Rata-rata Pengujian *Double HHO ON-OFF 5 Menit*

DATA ANALISIS (RATA-RATA DARI TIGA KALI PENGUJIAN)									
jam	Menit ke	Tegangan (Volt)	arus listrik (Ampere)	Daya (Watt)	Temperatur elektrolit (°C)	Flowrate HHO (Liter/menit)	Flowrate HHO (Mol/detik)	Efisiensi Generator (%)	Penurunan suhu (ΔT ON-OFF) (%)
0	0	12	13.0	156	29.7	0.15	1.00E-04	18.38	8.77
0.25	15	12	13.3	159.6	35.7	0.17	1.14E-04	20.36	
0.5	30	12	13.7	164.4	38.7	0.17	1.14E-04	19.76	
0.75	45	12	13.9	167.2	43.5	0.17	1.14E-04	19.43	
1	60	12	14.2	170.8	45.0	0.19	1.27E-04	21.26	
1.25	75	12	14.6	175.2	49.2	0.19	1.27E-04	20.72	39.89
1.5	90	12	14.9	178.8	49.4	0.22	1.47E-04	23.51	
1.75	105	12	15.2	182	52.8	0.22	1.47E-04	23.10	
2	120	12	15.6	187.2	52.9	0.24	1.63E-04	24.84	
2.25	135	12	15.9	190.8	55.9	0.24	1.63E-04	24.37	
2.5	150	12	16.1	192.8	56.3	0.25	1.67E-04	24.78	42.12
2.75	165	12	16.1	193.6	59.0	0.25	1.67E-04	24.68	
3	180	12	16.2	194.8	58.7	0.25	1.67E-04	24.53	
3.25	195	12	16.3	196	61.1	0.25	1.67E-04	24.38	
3.5	210	12	16.3	196	60.4	0.25	1.67E-04	24.38	
3.75	225	12	16.3	196	61.9	0.25	1.67E-04	24.38	45.14
4	240	12	16.3	196	61.5	0.25	1.67E-04	24.38	
4.25	255	12	16.3	196	63.8	0.25	1.67E-04	24.38	
4.5	270	12	16.4	196.8	63.0	0.25	1.67E-04	24.28	
4.75	285	12	16.4	196.8	65.2	0.25	1.67E-04	24.28	
5	300	12	16.4	196.8	64.5	0.25	1.67E-04	24.28	49.52
5.25	315	12	16.4	196.8	66.8	0.25	1.67E-04	24.28	
5.5	330	12	16.4	196.8	66.0	0.25	1.67E-04	24.28	
5.75	345	12	16.4	196.8	68.3	0.25	1.67E-04	24.28	
6	360	12	16.4	196.8	67.3	0.25	1.67E-04	24.28	
6.25	375	12	16.4	196.8	69.5	0.25	1.67E-04	24.28	56.06
6.5	390	12	16.4	196.8	68.4	0.25	1.67E-04	24.28	
6.75	405	12	16.4	196.8	70.6	0.25	1.67E-04	24.28	
7	420	12	16.4	196.8	69.4	0.25	1.67E-04	24.28	
7	420	12	16.4	196.8	69.4	0.25	1.67E-04	24.28	

Tabel E.2 Data Rata-rata, *Double HHO ON-OFF 5 Menit (Lanjutan)*

7.25	435	12	16.4	196.8	71.5	0.25	1.67E-04	24.28	69.57
7.5	450	12	16.4	196.8	70.4	0.24	1.63E-04	23.63	
7.75	465	12	16.4	196.8	72.1	0.24	1.58E-04	22.98	
8	480	12	16.4	196.8	70.9	0.24	1.58E-04	22.98	
8.25	495	12	16.4	196.8	72.7	0.24	1.58E-04	22.98	72.21
8.5	510	12	16.4	196.8	71.3	0.24	1.58E-04	22.98	
8.75	525	12	16.4	196.8	73.1	0.24	1.58E-04	22.98	
9	540	12	16.4	196.8	71.6	0.24	1.58E-04	22.98	
9.25	555	12	16.4	196.8	73.9	0.24	1.58E-04	22.98	70.99
9.5	570	12	16.4	196.8	72.0	0.21	1.40E-04	20.39	
9.75	585	12	16.4	196.8	74.7	0.21	1.40E-04	20.39	
10	600	12	16.4	196.8	75.0	0.21	1.40E-04	20.39	

<b>AVERAGE</b>			16.4	190.7		0.23	1.55E-04	22.5	51.86
----------------	--	--	------	-------	--	------	----------	------	-------

Tabel E.3 Data Rata-rata Pengujian *Double HHO ON-OFF* 15 Menit

**DATA ANALISIS (RATA-RATA DARI TIGA KALI PENGUJIAN)**

Jam	Menit ke	Tegangan (Volt)	arus listrik (Ampere)	Daya (Watt)	Temperatur elektrolit (°C)	Flowrate HHO (Liter/menit)	Flowrate HHO (Mol/detik)	Efisiensi Generator (%)	Penurunan suhu ( $\Delta T$ ON-OFF) (%)
0	0	12	13.0	156	30.0	0.15	1.00E-04	18.38	19.56
0.25	15	12	13.6	163.2	39.0	0.17	1.14E-04	19.91	
0.5	30	12	13.6	163.2	37.8	0.16	1.09E-04	19.13	
0.75	45	12	14.2	170	45.7	0.17	1.14E-04	19.11	
1	60	12	14.3	171.2	43.7	0.20	1.34E-04	22.32	36.49
1.25	75	12	14.7	176	51.1	0.19	1.27E-04	20.63	
1.5	90	12	14.7	176	48.4	0.22	1.47E-04	23.89	
1.75	105	12	15.3	183.2	54.7	0.22	1.47E-04	22.95	
2	120	12	15.3	183.2	51.7	0.24	1.63E-04	25.38	51.65
2.25	135	12	15.7	188.8	57.9	0.23	1.56E-04	23.62	
2.5	150	12	15.7	188.8	54.0	0.23	1.56E-04	23.62	
2.75	165	12	16.0	191.6	60.3	0.24	1.63E-04	24.27	
3	180	12	16.0	191.6	56.5	0.25	1.67E-04	24.93	76.49
3.25	195	12	16.2	194	62.1	0.25	1.67E-04	24.63	
3.5	210	12	16.3	195.2	57.7	0.25	1.67E-04	24.48	
3.75	225	12	16.3	195.2	63.5	0.24	1.63E-04	23.82	
4	240	12	16.3	195.2	59.2	0.25	1.67E-04	24.48	86.01
4.25	255	12	16.3	196	64.4	0.25	1.67E-04	24.38	
4.5	270	12	16.3	196	59.9	0.25	1.67E-04	24.38	
4.75	285	12	16.3	196	64.9	0.25	1.67E-04	24.38	
5	300	12	16.3	196	60.6	0.25	1.67E-04	24.38	93.26
5.25	315	12	16.3	196	65.3	0.25	1.67E-04	24.38	
5.5	330	12	16.3	196	60.9	0.25	1.67E-04	24.38	
5.75	345	12	16.3	196	65.6	0.25	1.67E-04	24.38	
6	360	12	16.3	196	61.2	0.25	1.67E-04	24.38	95.51
6.25	375	12	16.3	196	65.8	0.25	1.67E-04	24.38	
6.5	390	12	16.3	196	61.3	0.25	1.67E-04	24.38	
6.75	405	12	16.3	196	66.2	0.25	1.67E-04	24.38	
7	420	12	16.3	196	61.7	0.25	1.67E-04	24.38	94.27
7.25	435	12	16.3	196	66.6	0.25	1.67E-04	24.38	
7.5	450	12	16.3	196	62.0	0.24	1.58E-04	23.08	
7.75	465	12	16.3	196	67.0	0.24	1.58E-04	23.08	
8	480	12	16.4	196.8	62.2	0.24	1.58E-04	22.98	94.86
8.25	495	12	16.4	196.8	67.3	0.24	1.58E-04	22.98	
8.5	510	12	16.4	196.8	62.4	0.24	1.58E-04	22.98	
8.75	525	12	16.4	196.8	67.7	0.24	1.58E-04	22.98	
9	540	12	16.4	196.8	62.8	0.24	1.58E-04	22.98	90.36
9.25	555	12	16.4	196.8	68.3	0.23	1.54E-04	22.33	
9.5	570	12	16.4	196.8	63.3	0.21	1.40E-04	20.39	
9.75	585	12	16.4	196.8	68.8	0.21	1.40E-04	20.39	
10	600	12	16.4	196.8	63.8	0.21	1.40E-04	20.39	

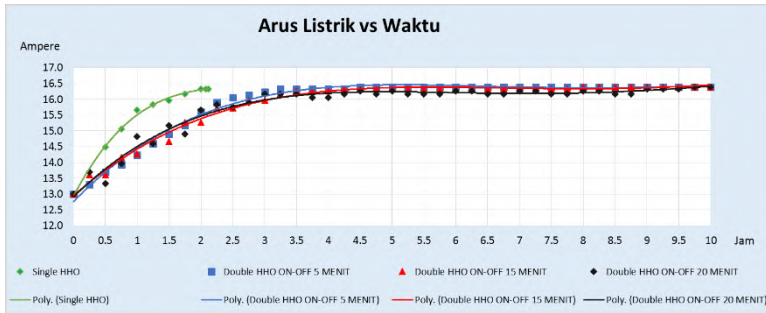
<b>AVERAGE</b>			16.4	190.1		0.23	1.54E-04	22.4	73.85
----------------	--	--	------	-------	--	------	----------	------	-------

Tabel E.4 Data Rata-rata Pengujian *Double HHO ON-OFF* 20 Menit

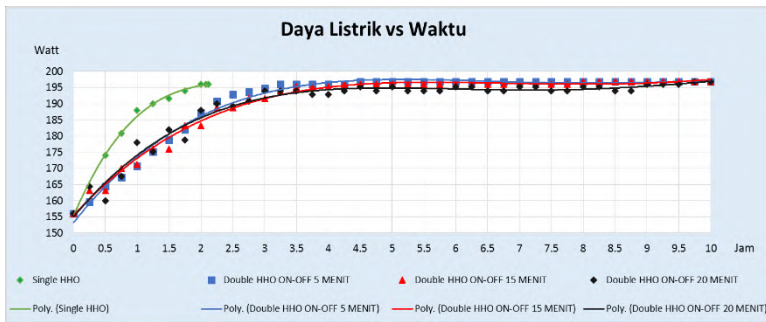
**DATA ANALISIS (RATA-RATA DARI TIGA KALI PENGUJIAN)**

jam	Menit ke	Tegangan (Volt)	arus listrik (Ampere)	Daya (Watt)	Temperatur elektrolit (°C)	Flowrate HHO (Liter/menit)	Flowrate HHO (Mol/detik)	Efisiensi Generator (%)	Penurunan suhu ( $\Delta T$ ON-OFF) (%)
0	0	12	13.0	156.0	30.0	0.15	1.00E-04	18.38	18.06
0.25	15	12	13.7	164.4	39.0	0.17	1.14E-04	19.76	
0.5	30	12	13.3	160.0	40.8	0.16	1.09E-04	19.51	
0.75	45	12	14.0	167.6	42.4	0.17	1.14E-04	19.38	
1	60	12	14.8	178.0	50.2	0.20	1.34E-04	21.47	43.12
1.25	75	12	14.6	175.2	48.2	0.19	1.27E-04	20.72	
1.5	90	12	15.2	182.0	51.8	0.22	1.47E-04	23.10	
1.75	105	12	14.9	178.8	54.7	0.22	1.47E-04	23.51	
2	120	12	15.7	188.0	51.3	0.24	1.63E-04	24.73	67.92
2.25	135	12	15.8	190.0	57.3	0.23	1.56E-04	23.47	
2.5	150	12	15.8	189.2	56.7	0.23	1.56E-04	23.57	
2.75	165	12	15.9	190.8	55.8	0.24	1.63E-04	24.37	
3	180	12	16.2	194.0	61.5	0.25	1.67E-04	24.63	77.38
3.25	195	12	16.2	194.0	57.4	0.25	1.67E-04	24.63	
3.5	210	12	16.2	194.0	59.9	0.25	1.67E-04	24.63	
3.75	225	12	16.1	192.8	62.2	0.24	1.63E-04	24.12	
4	240	12	16.1	192.8	57.3	0.25	1.67E-04	24.78	93.33
4.25	255	12	16.2	194.0	63.0	0.25	1.67E-04	24.63	
4.5	270	12	16.3	195.2	62.0	0.25	1.67E-04	24.48	
4.75	285	12	16.2	194.0	60.1	0.25	1.67E-04	24.63	
5	300	12	16.3	195.2	65.5	0.25	1.67E-04	24.48	85.43
5.25	315	12	16.2	194.0	61.0	0.25	1.67E-04	24.63	
5.5	330	12	16.2	194.0	63.5	0.25	1.67E-04	24.63	
5.75	345	12	16.2	194.0	65.0	0.25	1.67E-04	24.63	
6	360	12	16.3	195.2	60.0	0.25	1.67E-04	24.48	93.00
6.25	375	12	16.3	195.2	65.4	0.25	1.67E-04	24.48	
6.5	390	12	16.2	194.0	64.3	0.25	1.67E-04	24.63	
6.75	405	12	16.2	194.0	61.9	0.25	1.67E-04	24.63	
7	420	12	16.3	195.2	67.0	0.25	1.67E-04	24.48	94.40
7.25	435	12	16.3	195.2	63.2	0.25	1.67E-04	24.48	
7.5	450	12	16.2	194.0	63.9	0.24	1.58E-04	23.31	
7.75	465	12	16.2	194.0	66.2	0.24	1.58E-04	23.31	
8	480	12	16.3	195.2	61.2	0.24	1.58E-04	23.17	94.33
8.25	495	12	16.3	195.2	66.3	0.24	1.58E-04	23.17	
8.5	510	12	16.2	194.0	65.0	0.24	1.58E-04	23.31	
8.75	525	12	16.2	194.0	62.8	0.24	1.58E-04	23.31	
9	540	12	16.3	196.0	68.0	0.22	1.45E-04	21.13	94.51
9.25	555	12	16.3	196.0	64.7	0.21	1.40E-04	20.48	
9.5	570	12	16.3	196.0	64.6	0.21	1.40E-04	20.48	
9.75	585	12	16.4	196.8	67.1	0.21	1.40E-04	20.39	
10	600	12	16.4	196.8	62.3	0.21	1.40E-04	20.39	
<b>AVERAGE</b>			16.3	189.4		0.23	1.52E-04	22.2	76.15

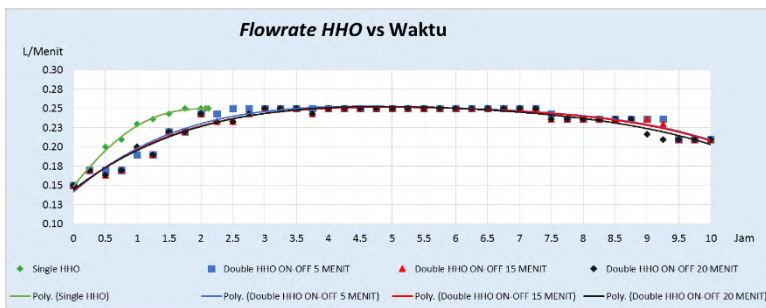
Grafik E.1 Grafik Rata-rata Arus Listrik vs Waktu



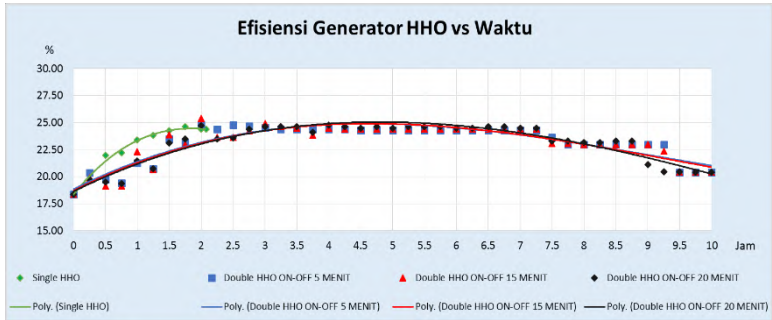
Grafik E.2 Grafik Rata-rata Daya Listrik vs Waktu



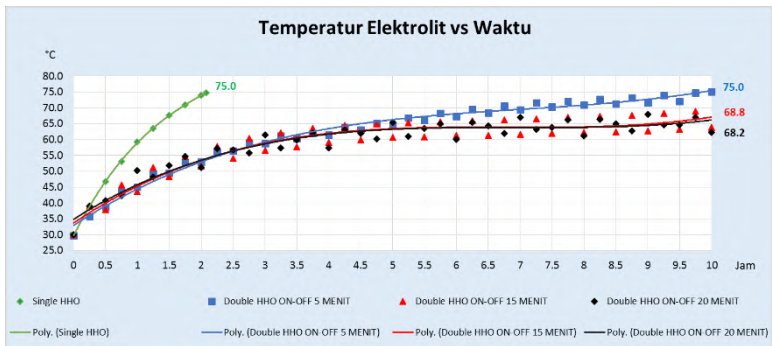
Grafik E.3 Grafik Rata-rata *Flowrate* Gas HHO vs Waktu



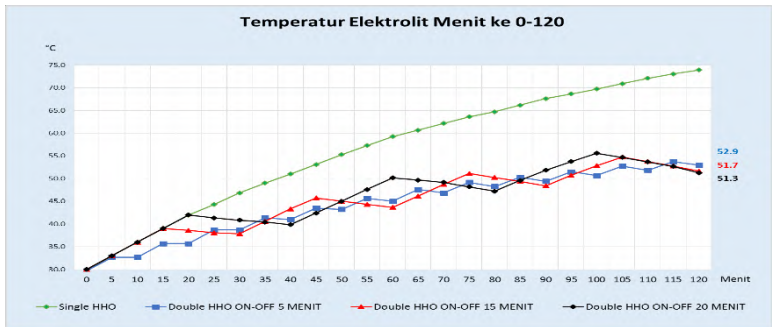
Grafik E.4 Grafik Rata-rata Efisiensi Generator HHO vs Waktu



Grafik E.5 Grafik Rata-rata Temperatur Elektrolit vs Waktu

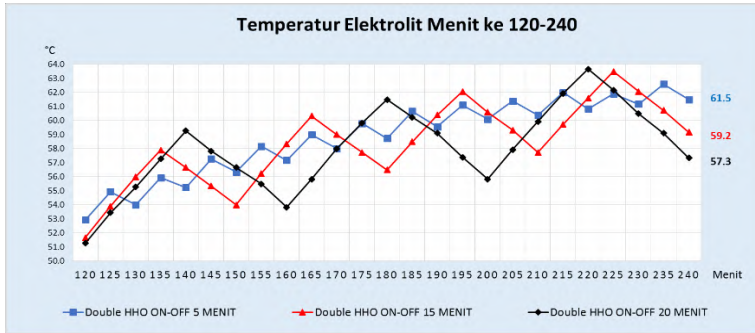


Grafik E.6 Grafik Detail Temperatur vs Waktu menit ke 0-120

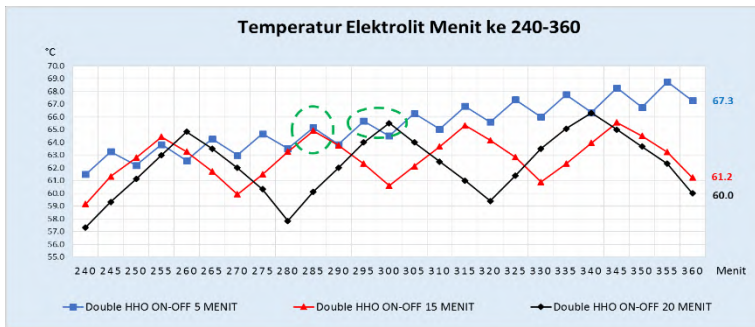


Grafik E.7 Grafik Detail Temperatur vs Waktu menit ke 120-240

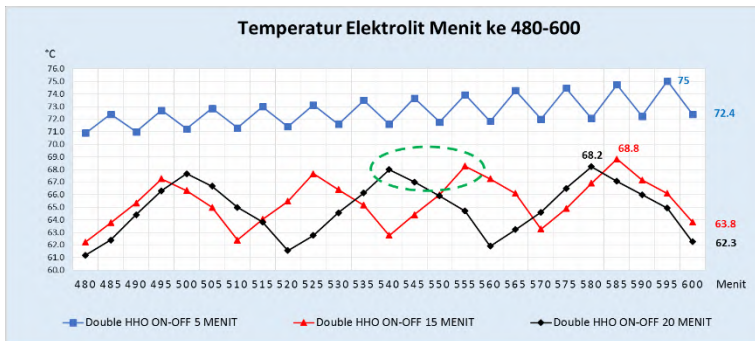




Grafik E.8 Grafik Detail Temperatur vs Waktu menit ke 240-360



Grafik E.9 Grafik Detail Temperatur vs Waktu menit ke 480-600



## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasar hasil penelitian yang telah dibahas pada bab sebelumnya, dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Penambahan siklus *ON-OFF* dari *double HHO*, dapat meningkatkan lama waktu pengoperasian bila dibandingkan dengan *single HHO*. Lama waktu pengoperasian *single HHO* mencapai temperatur maksimum yang dibatasi sebesar 75 °C yaitu hanya 2 jam lebih 5 menit.
2. *Double HHO* dengan siklus *ON-OFF* setiap 5, 15 dan 20 menit pada pengoperasian jam ke 10, temperatur berturut-turut mencapai 75 °C, 68.8 °C dan 68.2 °C.
3. Pada *single HHO* tidak memungkinkan terjadi proses pendinginan sedangkan pada *double HHO* terjadi proses pendinginan (saat siklus *OFF*). *Double HHO* dengan siklus *ON-OFF* setiap 5, 15 dan 20 menit rata-rata harga penurunan temperatur (saat siklus *OFF*) adalah sebesar 51.86%, 73.85% dan 76.15% terhadap harga kenaikan temperatur (saat siklus *ON*).
4. Perbandingan antara energi masuk (*input*) dan energi keluar (*output*) pada *single HHO* selama 2 jam operasi adalah sebesar 1339 kJ : 305.34 kJ atau sekitar 23% energi digunakan dari total energi yang diberikan. Untuk *double HHO* dengan lama waktu operasi 10 jam, perbandingan energi yang berguna dibanding energi yang diberikan adalah 1582.3kJ : 7084.8 kJ atau sekitar 22.3 % dari total energi yang diberikan.

## 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penyempurnaan penelitian berikutnya diantaranya:

1. Ditambah *cooling fan* pada rangkaian elektrik untuk mencegah terjadinya *overheating* agar umur komponen elektrik lebih panjang.
2. Dilakukan percobaan untuk *timing ON-OFF* yang lebih lama, karena dengan mempertimbangkan harga penurunan temperatur ( $\Delta T$  *OFF*) dan temperatur puncak saat akhir siklus *ON*, diprediksi ada *timing ON-OFF* yang ideal untuk memperoleh lama waktu operasi generator HHO yang maksimal.
3. Penggantian elektroda dengan material yang mempunyai ketahanan korosi yang lebih baik (*Stainles Steel AISI 316/317*) agar tercapai efisiensi generator HHO yang lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Cole Parmer Instrument Co., 2005. **Water Quality Catalog**. United States of America.
- Datasheet IC NE555, 2004. **IC NE555, SA555, SE555 Precision Timer, revised 2004**. Texas, United States of America.
- David, G.A, Michael B.H, 2011. **Introduction to Mechatronic and Measurement System, fourth edition**. Colorado State University. USA
- Fungky Dyan Pertiwi, 2013. **Pengaruh Penggunaan PWM (Pulse Width Modulation) pada Generator HHO tipe Dry Cell**. FTI-ITS. Surabaya.
- Ferry Andrian, 2013. **Gas HHO** <URL:[http://gas-hho.blogspot.co.id/2013/03/sejarah bahan bakar air](http://gas-hho.blogspot.co.id/2013/03/sejarah_bahan_bakar_air)>.
- Harrold M. Cobb, 1999. **Stainless Steel: a Steel Product Manual**. Australia.
- Helmenstine, Anne Marie, 2001. **Chemistry Glossary Devinition of Electrolysis**. University of Tennessee. Knoxville.
- Isana S.Y.L, 2010. **Perilaku Elektrolisis Air Dengan Elektroda Stainless Steel**. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta. Indonesia.
- Ionis, Papagianis, 2005. **Studying and Improving the Efficiency of Water Electrolysis**. Scrtachlyde University.
- Jumiati, Joko S., Irfana D.P, 2013. **Pengaruh Konsentrasi Larutan Katalis dan Bentuk Elektroda dalam Proses Elektrolisis untuk Menghasilkan Gas Brown**. FMIPA- Universitas Tanjungpura. Pontianak. Indonesia.
- NASA Glenn Research Center, 2010. **Glenn Safety Manual Hydrogen w, Chapter 6**. United States of America.
- Peter E.W Lowrie, 2005. **Electrolitic Gas**. United States of America.

- Robert B. Dop, 2007. **Hydrogen Generation via Water Electrolysis Using Highly Efficient Nanometal Electrodes**. QuantumSphere, Inc.
- Ratih N. A, 2012. **Pengaruh Duty Cycle pada width Modulation Terhadap Performa Generator HHO Tipe Basah (wet type) 9 plat SS 316L Ukuran 100x100 mm**. FTI-ITS. Surabaya.
- Risky A. P, 2013. **Pengaruh Penggunaan Frekuensi Listrik Terhadap Performa Generator HHO dan Unjuk Kerja Engine Honda Kharisma 125 CC**. FTI-ITS. Surabaya.
- Suprastowo, 2009. **Pengujian dan Perbaikan Performa Generator HHO dengan Variasi Konfigurasi Larutan Elektrolit Baking Soda Dalam Aquades**. FTI-ITS. Surabaya.
- Texas Instrument, 2015. **LM555 Timer SNAS548D Revised 2015**. Texas, United State of America.
- Theodore L. B, Andrienne S. L, Frank P. I, David P. D, 2002. **Fundamental of Heat and Mass Transfer**. University of Calofornia, Los Angeles.
- Wikipedia, 2010. **Electrolysis of Water** <URL:[http; // en.wikipedia.org/ wiki/ Electrolysis\\_of\\_water](http://en.wikipedia.org/wiki/Electrolysis_of_water)>.
- R Nave, 2013. **electrolysis of water and fuel cell operation** <URL:[hhttp://electrolysis\\_of\\_water\\_and\\_fuel\\_cell\\_operation.html](http://electrolysis_of_water_and_fuel_cell_operation.html)>
- Wardiyanto, 2013. **Pengaruh Penggunaan PWM E-2 VF Terhadap Performa Generator HHO Tipe Dry dan Wet Cell Berdimensi 70 x 70 mm**. FTI-ITS. Surabaya.
- Yahya A Kurniawan, 2013. **Studi Eksperimental Laju Produksi Gas HHO pada Generator Tipe Wet dan Dry Cell Berdimensi 90x90 mm dengan Penambahan PWM E-1**. FTI-ITS. Surabaya. Indonesia.

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di kota Kebumen pada 06 Desember 1986, mengawali pendidikan formal dari SDN 2 Mulyosri, kemudian di SMPN I Prembun dan SMAN I Prembun kabupaten Kebumen. Setelah lulus dari SMAN, pada tahun 2005 penulis melanjutkan pendidikan Diploma 3 (D-III) di Universitas Negeri Yogyakarta mengambil jurusan Teknik Mesin.

Setelah lulus dari D-III Teknik Mesin UNY tahun 2008, penulis diterima kerja di PT. Team Metal Indonesia sebagai teknisi mesin CNC selama dua tahun sampai tahun 2010. Kemudian Pada tahun 2011 bekerja di PT. United Tractors. Tbk sebagai Quality Assurance (*QA Officer*) sampai tahun 2014. Kemudian melanjutkan jenjang Sarjana (S1) pendidikan lintas jalur di jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya.

Alamat Email : [amirr\\_and@yahoo.com](mailto:amirr_and@yahoo.com)