

**KAJI EKSPERIMEN PEMANFAATAN ENERGI SOLAR CELL
PADA PROSES PRODUKSI GAS OXYHYDROGEN (HHO)**



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
pendidikan diploma empat (D-4) Program Studi Teknik Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang

NURUL HIDAYAH
442 19 038

PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR

2023

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi dengan judul **Kaji Eksperimen Pemanfaatan Energi Solar Cell Pada Proses Produksi Gas *Oxyhydrogen* (HHO)** oleh Nurul Hidayah NIM 442 19 038 dinyatakan layak untuk diterima.

Makassar, 24 Juli 2023

Menyetujui,

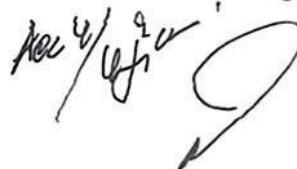
Pembimbing I



Prof. Ir. Suryanto, M.Sc. Ph.D

NIP. 19590826 198803 1 002

Pembimbing II



Sonong, S.T., M.T.

NIP. 19621202 199203 1 002

Mengetahui,

Koordinator Program Studi
Teknik Pembangkit Energi



Ir. Chandra Bhuana, M.T.

NIP. 19650319 199103 1 001

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, Senin 14 Agustus 2023, Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi telah menerima dengan baik skripsi oleh mahasiswa : Nurul Hidayah NIM 442 19 038 dengan judul Kaji Eksperimen Pemanfaatan Energi Solar *Cell* Pada Proses Produksi Gas *Oxyhydrogen* (HHO).

Makassar, 14 Agustus 2023

Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi :

- | | | | |
|----|----------------------------------|---------------|---|
| 1. | Prof. Ir. Nur Hamzah, M.T., Ph.D | Ketua | () |
| 2. | Ir. Chandra Buana, M.T. | Sekretaris | () |
| 3. | Prof. Dr. Ir. Firman, M.T. | Anggota | () |
| 4. | Ir. Andreas Pangkung, M.T. | Anggota | () |
| 5. | Prof. Ir. Suryanto, M.Sc., Ph.D. | Pembimbing I | () |
| 6. | Sonong, S.T., M.T. | Pembimbing II | () |

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Nurul Hidayah

NIM : 442 19 038

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul **“Kaji Eksperimen Pemanfaatan Energi Solar Cell Pada Proses Produksi Gas *Oxyhydrogen* (HHO)”** merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, saya siap menanggung risiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 14 Agustus 2023



Nurul Hidayah

Nim 442 19 038

KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena telah melimpahkan rahmat-Nya berupa kesempatan dan pengetahuan sehingga mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul “Kaji Eksperimen Pemanfaatan Energi Solar *Cell* Pada Proses Produksi Gas Oxyhydroge (HHO)” dengan tepat waktu.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi guna menyelesaikan pendidikan Diploma IV pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang. Selain itu, proposal skripsi ini juga bertujuan untuk menambah wawasan tentang pengembangan energi baru terbarukan dalam upaya penghematan bahan bakar kedepannya.

Pada kesempatan ini penulis juga ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada berbagai pihak yang membantu selama proses penyusunan skripsi berlangsung sampai selesainya penelitian ini. Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada :

1. Orang tua tercinta yang selalu memberikan dukungan dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Ir. Ilyas Mansyur, M.T. selaku direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
3. Bapak Dr. Ir. Syaharuddin Rasyid, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Bapak Ir. Chandra Buana, M.T. selaku Koordinator Program Studi D4 Teknik Pembangkit Energi.
5. Bapak Prof. Ir. Suryanto, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing I dan Bapak Sonong, S.T., M.T. selaku pembimbing II yang telah meluangkan waktu dan pikirannya untuk memberikan arahan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Segenap dosen pada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, khususnya dosen pada Program Studi D-4 Teknik Pembangkit Energi atas semua ilmu yang telah diajarkan kepada penulis selama kurang lebih 4 tahun menempuh pendidikan di bangku kuliah.
7. Seluruh tenaga kependidikan dan instruktur pada Program Studi D-4 Teknik Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang.
8. Teman-teman Jurusan Teknik mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, khususnya teman-teman pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi angkatan 2019 yang telah membantu dan memberikan dukungannya.
9. Semua pihak yang tidak sempat penulis sebutkan satu-persatu yang berjasa dalam penyusunan proposal penelitian ini.

Tiada gading yang tak retak, begitu juga dengan skripsi ini. Masih perlu perbaikan, segala kritik dan saran ataupun masukan senantiasa penulis terima dengan baik untuk perbaikan penyusunan proposal kedepan. Semoga proposal

yang telah tersusun ini dapat berguna bagi pembaca dan bisa menambah wawasan terkait dengan gas HHO.

Makassar, 21 Juli 2023

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	i
HALAMAN PENERIMAAN	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR SIMBOL, SATUAN, DAN/ATAU SINGKATAN	xiii
RINGKASAN	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Ruang Lingkup Penelitian	4
1.4. Tujuan Penelitian	5
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Gas HHO (Hidrogen Hidrogen Oksida)	6
2.1.1. Karakteristik Browns Gas (HHO)	8
2.2. Produksi Gas HHO dengan Proses Elektrolisis Air.....	11
2.3. Generator HHO.....	14
2.3.1. Prinsip Kerja Generator HHO	14

2.3.2. Klasifikasi Generator HHO	15
2.4. Plat Elektroda	17
2.5. Larutan Elektrolit.....	19
2.6. Parameter Unjuk Kerja Generator HHO	20
2.6.1. Daya yang Dibutuhkan Generator HHO (PHHO).....	21
2.6.2. Pengaruh Konsentrasi Katalis dalam Larutan (Fraksi Massa)	21
2.6.3. Laju Produksi/ <i>Flowrate</i> Massa gas HHO (\dot{m}_{HHO})	22
2.6.4. Efisiensi Generator HHO (η_{HHO}).....	23
2.6.5. Efisiensi Penggunaan Bahan Bakar HHO	29
2.7. Panel Surya.....	30
2.8. Sistem Penyimpanan Energi (<i>Energy Storage</i>).....	33
2.9. PWM (<i>Pulse Width Modulation</i>).....	37
BAB III METODE PENELITIAN.....	40
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	40
3.2. Alat dan Bahan	40
3.2.1. Alat dan Instrumen.....	40
3.2.2. Bahan.....	41
3.3. <i>Flowchart</i> Penelitian	42
3.4 Skema Penelitian	44
3.5. Prosedur Penelitian	45
3.5.1. Tahap Perancangan	46
3.5.2. Tahap Perakitan.....	49
3.5.3. Tahap Pengujian dan Pengambilan Data.....	50
3.6. Parameter yang Diukur.....	54

3.7. Teknik Analisis Data	55
3.7.1. Teknik Analisis Data Pengujian Performa Generator HHO.....	55
3.7.2. Analisa Data Jumlah Produksi Minimum Gas HHO terhadap Nilai Optimal Efisiensi Genset.....	56
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	59
4.1. Data Hasil Pengujian	59
4.2. Perhitungan Data Hasil Pengujian	59
4.2.1. Perhitugan Unjuk Kerja Generator HHO.....	60
4.2.2. Perhitugan Jumlah Produksi Minimum Gas HHO terhadap Nilai Optimal <i>Specific Fuel Consumption</i> (SFC) Genset.....	63
4.3. Analisis dan Pembahasan Hasil Pengujian	69
4.3.1. Performa Generator HHO	69
4.3.2. Analisa Data Jumlah Produksi Minimum Gas HHO terhadap Nilai Optimal Efisiensi Genset	85
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	89
5.1. Kesimpulan.....	89
5.2. Saran	90
DAFTAR PUSTAKA	91
LAMPIRAN.....	95

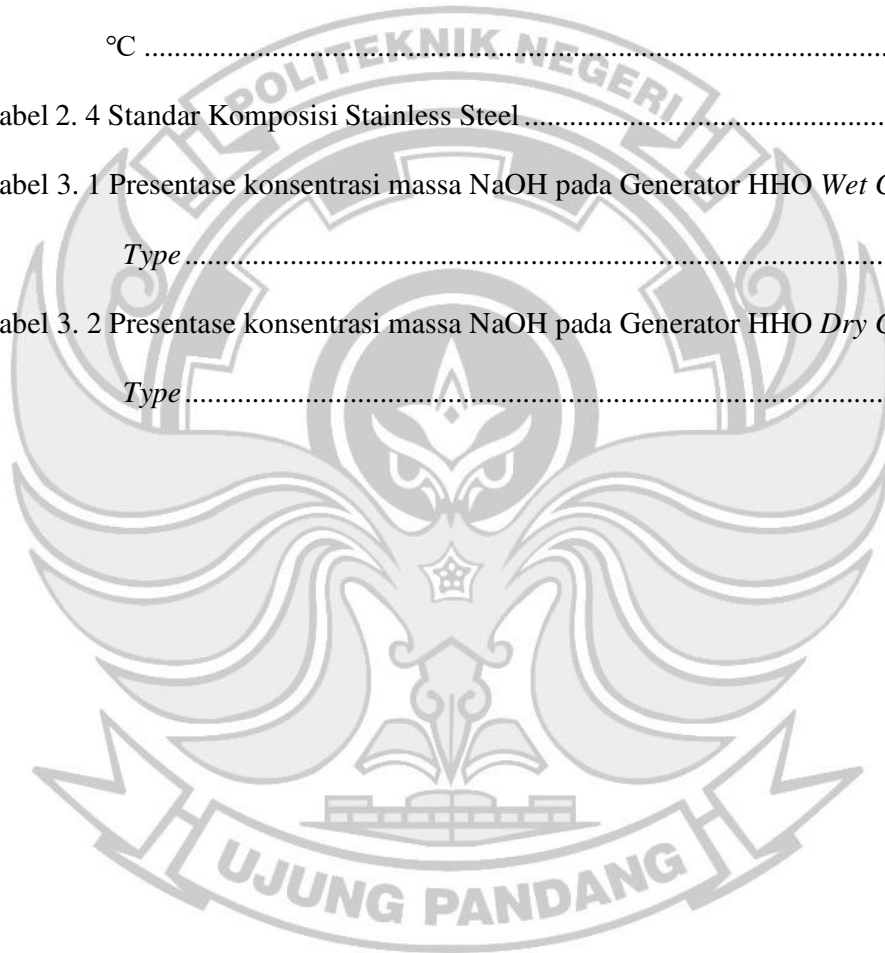
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pemecahan molekul air menjadi gas HHO.....	7
Gambar 2. 2 Rangkaian dasar sistem elektrolisa.....	13
Gambar 2. 3 Generator gas HHO tipe <i>wet cell</i>	15
Gambar 2. 4 Generator gas HHO tipe <i>dry cell</i>	16
Gambar 2. 5 Grafik Hubungan antara Reaksi Kimia terhadap Energi yang Dibutuhkan Untuk Terjadinya Reaksi.....	20
Gambar 2. 6 Reaksi Eksoterm.....	26
Gambar 2. 7 Reaksi Endoterm.....	26
Gambar 2. 8 Penggambaran <i>duty cycle</i>	38
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> Penelitian.....	43
Gambar 3. 2 Skema Rangkaian Uji Experiment Generator HHO <i>Wet Cell Type</i> .	44
Gambar 3. 3 Skema Rangkaian Uji Experiment Generator HHO <i>Dry Cell Type</i> .	45
Gambar 3. 4 Dimensi Penghemat BBM Alco HHO Generator 3000 <i>Compact</i>	47
Gambar 3. 5 Alco HHO <i>Wiring Diagram</i>	47
Gambar 3. 6 Desain Generator HHO.....	48
Gambar 3. 7 Generator HHO <i>Wet Cell Type</i> yang digunakan.....	49
Gambar 3. 8 Rangkaian Pengujian Performa Generator HHO Tipe <i>Wet Cell</i>	50
Gambar 3. 9 Rangkaian Pengujian Performa Generator HHO Tipe <i>Dry Cell</i>	51
Gambar 4. 1 Grafik Hubungan Daya <i>Input</i> Generator HHO <i>Wet Cell Type</i> terhadap Arus <i>Input</i> Generator dan Konsentrasi NaOH.....	70
Gambar 4. 2 Grafik Hubungan Daya <i>Input</i> Generator HHO <i>Dry Cell Type</i> terhadap Arus <i>Input</i> Generator HHO.....	72

Gambar 4. 3 Perbandingan Daya <i>Input</i> Generator HHO <i>Dry Cell Type</i> dan Generator HHO <i>Wet Cell Type</i>	74
Gambar 4. 4 Grafik Hubungan Mass Flowrate Gas HHO dari Generator HHO <i>Wet Cell Type</i> terhadap Arus <i>Input</i> Generator HHO	75
Gambar 4. 5 Grafik Hubungan Mass Flowrate Gas HHO dari Generator HHO <i>Dry Cell Type</i> terhadap Arus <i>Input</i> Generator HHO	77
Gambar 4. 6 Perbandingan Mass Flowrate Generator HHO <i>Dry Cell Type</i> dan Generator HHO <i>Wet Cell Type</i>	79
Gambar 4. 7 Grafik Hubungan Efisiensi Generator HHO <i>Wet Cell Type</i> terhadap Arus <i>Input</i> Generator HHO dan Konsentrasi Katalis	80
Gambar 4. 8 Grafik Hubungan Efisiensi Generator HHO <i>Dry Cell Type</i> terhadap Arus <i>Input</i> Generator HHO dan Konsentrasi Katalis	82
Gambar 4. 9 Perbandingan Efisiensi Generator HHO <i>Dry Cell Type</i> dan Generator HHO <i>Wet Cell Type</i>	84
Gambar 4. 10 Perbandingan <i>Spesific Fuel Consumption</i> (SFC) dengan dan tanpa Menggunakan Gas HHO pada Variasi Beban 50 %, 75 %, 100 % .	86
Gambar 4. 11 Perbandingan <i>Spesific Fuel Consumption</i> (SFC) sebelum dan setelah penambahan gas HHO terhadap Arus <i>Input</i> Generator HHO.	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Nilai Properties Termokimia pada Kodisi Atmosfer	8
Tabel 2. 2 <i>Properties</i> Gas Hidrogen Pada Kondisi Temperatur dan Tekanan	
Standar	10
Tabel 2. 3 Jenis Katalis terhadap Konduktifitas pada Temperatur $298\text{K} \cong 24.85$	
°C	12
Tabel 2. 4 Standar Komposisi Stainless Steel	18
Tabel 3. 1 Presentase konsentrasi massa NaOH pada Generator HHO <i>Wet Cell</i>	
<i>Type</i>	52
Tabel 3. 2 Presentase konsentrasi massa NaOH pada Generator HHO <i>Dry Cell</i>	
<i>Type</i>	53



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1	92
Lampiran 1A Data Pengujian Generator HHO <i>Wet Cell Type</i>	95
Lampiran 1B Data Pengujian Generator HHO <i>Dry Cell Type</i>	109
Lampiran 1C Data Pengujian Performa Genset Tanpa Penambahan Gas HHO .	113
Lampiran 1D Data Pengujian Performa Genset dengan Penambahan Gas HHO	114
LAMPIRAN 2	113
Lampiran 2 A Hasil Perhitungan Performa Generator HHO <i>Wet Cell Type</i>	116
Lampiran 2 B Hasil Perhitungan Performa Generator HHO <i>Dry Cell Type</i>	120
Lampiran 2 C Hasil Perhitungan Performa Genset Tanpa Penambahan Gas HHO	122
Lampiran 2 D Hasil Perhitungan Performa Genset dengan Penambahan Gas HHO	122
LAMPIRAN 3 Foto Kegiatan	119

DAFTAR SIMBOL, SATUAN, DAN/ATAU SINGKATAN

SIMBOL	SATUAN	KETERANGAN
P_{HHO}	W	Daya listrik generator HHO
V_{HHO}	V	Tegangan listrik generator HHO
I_{HHO}	A	Arus listrik generator HHO
\dot{m}_{HHO}	kg/s	Laju produksi gas HHO
Q_{HHO}	m ³ /s	Debit produksi gas HHO
ρ_{HHO}	kg/m ³	Massa jenis HHO
v_{HHO}	m ³	Volume gas terukur
t_{HHO}	s	Waktu produksi gas HHO
η_{HHO}	%	Efisiensi generator HHO
m_{HHO}	gr	Massa produksi gas HHO
NKB	kJ/g	Nilai Kalor Bawah
Δh	kJ/mol	Energi entalpi
P	atm	Tekanan gas ideal
V	L	Volume gas terukur
n	mol	Molaritas senyawa
\bar{R}	L.atm/mol.K	Konstanta gas ideal
T	K	Temperatur
\dot{V}	L/s	Volume per waktu
\dot{n}	mol/s	Molaritas senyawa per waktu
LHV	J/g	<i>Low Heating Value</i>
V_{bb}	L/s	Volume <i>rate</i> bahan bakar
l	L	Liter
t	s	Waktu
P_{in}	kW	Daya <i>Input</i>
HHV	kJ/L	<i>Higher Heating Value</i>

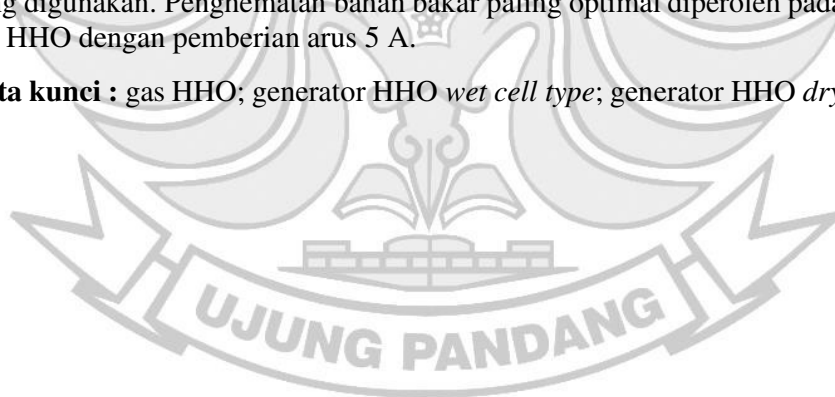
P_{out}	kW	Daya output
P_e	kW	Daya efektif
SFC	L/kWh	<i>Specific Fuel Consumption</i>
ρ_{bb}	kg/L	Massa jenis bahan bakar
Wh	J	Energi Input



RINGKASAN

Energi alternatif yang saat ini menjadi perhatian besar karena ketersediaan bahan bakunya yang melimpah dan menjadi sorotan berbagai negara adalah gas hidrogen. Gas hidrogen adalah bahan bakar yang memiliki nilai kalor dan nilai oktan yang tinggi diantara bahan bakar lainnya. Tujuan penelitian ini untuk menentukan kondisi kerja optimum generator HHO dan mencari nilai efisiensi yang dihasilkan generator HHO serta menentukan jumlah produksi minimum HHO yang sesuai dengan kebutuhan genset yang menghasilkan nilai *Specific Fuel Consumption* (SFC) optimum. Penelitian yang dilaksanakan dengan metode eksperimental (*experimental research*) untuk menguji performa generator HHO *Wet Cell Type* dan *Dry Cell Type* menggunakan proses elektrolisis dengan variasi katalis NaOH dengan sumber arus energi DC yang berasal dari panel PV melalui suatu baterai sebagai *energy storage*. Gas HHO yang dihasilkan kemudian diaplikasikan pada genset *Silent Inverter* 2000 Watt 2,5 kVa *Exell EX3000i* sebagai penghemat bahan bakar. Nilai efisiensi generator HHO *wet cell* dan *dry cell* berbanding lurus dengan presentase konsentrasi NaOH pada larutan elektrolit. Nilai efisiensi tertinggi yang dihasilkan terdapat pada presentase konsentrasi NaOH 7,7 %. Generator HHO tipe *dry cell* memiliki efisiensi yang lebih besar dibandingkan generator HHO tipe *wet cell*. Dimana generator HHO *Dry Cell Type* memiliki efisiensi tertinggi sebesar 67,08% pada arus 7 A dan untuk generator HHO *Wet Cell Type* menghasilkan efisiensi sebesar 65,91% pada arus 6,5 A. Penambahan gas HHO pada genset terbukti dapat memperbaiki kinerja mesin. Dimana semakin tinggi laju produksi gas HHO yang diinjeksikan maka semakin baik pula kinerja mesin genset yang dapat dilihat dengan adanya penurunan konsumsi bahan bakar yang digunakan. Penghematan bahan bakar paling optimal diperoleh pada produksi gas HHO dengan pemberian arus 5 A.

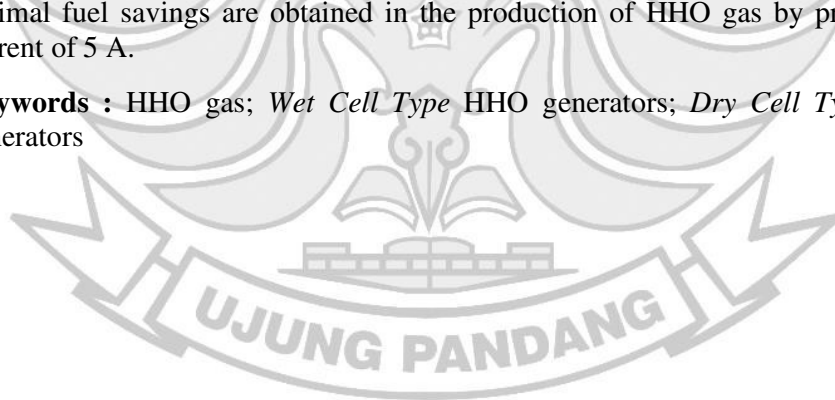
Kata kunci : gas HHO; generator HHO *wet cell type*; generator HHO *dry cell type*



SUMMARY

Alternative energy which is currently receiving great attention due to the abundant availability of its raw materials and which is in the spotlight of various countries is hydrogen gas. Hydrogen gas is a fuel that has a high calorific value and octane rating among other fuels. The purpose of this study was to determine the optimum working conditions of the HHO generator, to find the efficiency value produced by the HHO generator, and to determine the minimum amount of HHO production according to the needs of the generator that produces the optimum Specific Fuel Consumption (SFC) value. The research was carried out using experimental methods (experimental research) to test the performance of *Wet Cell Type* and *Dry Cell Type* HHO generators using an electrolysis process with a variation of NaOH catalyst with a DC energy current source originating from a PV panel through a battery as energy storage. The HHO gas produced is then applied to the Silent Inverter 2000 Watt 2.5 kVa Exell EX3000i generator set as a fuel saver. The efficiency value of the wet cell and dry cell HHO generators is directly proportional to the presence of NaOH concentration in the electrolyte solution. The highest efficiency value produced is found in the percentage of 7.7% NaOH concentration. The *Dry Cell Type* HHO generator has greater efficiency than the *Wet Cell Type* HHO generator. Where the *Dry Cell Type* HHO generator has the highest efficiency of 67.08% at a current of 7A and the *Wet Cell Type* HHO generator produces an efficiency of 65.91% at a current of 6.5A. The addition of HHO gas to generators to improve engine performance. Where the higher the production rate of HHO gas injected, the better the performance of the generator engine which can be seen by the decrease in fuel consumption used. The most optimal fuel savings are obtained in the production of HHO gas by providing a current of 5 A.

Keywords : HHO gas; *Wet Cell Type* HHO generators; *Dry Cell Type* HHO generators



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Saat ini kebutuhan energi sebagian besar masih didominasi oleh penggunaan bahan bakar fosil (*fossil fuel*). Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, memiliki tiga ancaman serius, yaitu kenaikan harga akibat permintaan yang besar, menipisnya cadangan minyak, serta polusi gas rumah kaca (CO₂). Isu lingkungan global yang menuntut tingkat kualitas udara yang baik, mendorong berbagai pakar energi untuk mengembangkan energi yang ramah lingkungan. Adanya ketidakseimbangan antara pemakaian dengan persediaan berpotensi menurunkan persediaan *fossil fuel* seiring dengan bertambahnya waktu.

Ketergantungan manusia terhadap energi fosil, misalnya energi untuk pembangkit listrik, industri dan berbagai macam alat-alat transportasi tidak dapat dipisahkan dalam upaya memenuhi kebutuhan keseharian. Meningkatnya jumlah penduduk dunia serta meningkatnya laju industrialisasi dari tahun ke tahun menyebabkan kebutuhan akan energi semakin besar, sedangkan jumlah energi yang tersedia hanya cukup untuk beberapa tahun mendatang. Data yang diperoleh dari Ditjen migas, produksi minyak dan gas bumi di Indonesia dalam beberapa tahun terakhir mengalami penurunan yang sangat signifikan. Pada tahun 2019, 2020, jumlah produksi minyak bumi masing-masing sebesar 745.14 MBOPD (*Metric Barrels of Oil Per Day*), 708.32 MBOPD, dan pada tahun 2021 turun menjadi 658.54 MBOPD.

Cadangan minyak di Indonesia juga mengalami penurunan dimana pada tahun 2019 masih mencapai 2.48 MMSTB (*Million Stock Tank Barrels*). Kemudian pada tahun 2021 mengalami penurunan dan tersisa 2.25 MMSTB. Sementara untuk pemakaian minyak bumi dalam negeri adalah sebesar 611 ribu barrel/hari. (Ditjen Migas ESDM, 2021)

Melihat kondisi tersebut, maka saat ini sangat diperlukan penelitian yang intensif untuk mengoptimalkan penggunaan sumber energi baru terbarukan yang lebih ramah lingkungan dan bersifat *sustainable*, seperti misalnya pemanfaatan energi surya, energi angin, hingga pemanfaatan *energy hydrogen*.

Energi alternatif yang saat ini menjadi perhatian besar karena ketersediaan bahan bakunya yang melimpah dan menjadi sorotan berbagai negara adalah gas hidrogen. Gas hidrogen adalah bahan bakar yang memiliki nilai kalor dan nilai oktan yang tinggi diantara bahan bakar lainnya. Selain itu, bahan bakar gas hidrogen ini sangat ramah lingkungan dan lebih efisien jika digunakan sebagai bahan bakar utama maupun bahan bakar pedamping (H. Harman & A. Ahyar, 2019). Gas hidrogen memberikan tingkat emisi yang mendekati *zero emission*.

Permasalahan utama dari produksi hidrogen, sampai saat ini masih diproduksi dari bahan bakar fosil, misalnya gas alam atau bahan bakar fosil lainnya (C. R. P. Patel, 2018) seperti *steam reforming* dan termokimia siklus *sulfur-iodine*. *Steam reforming* dari metana merupakan teknologi yang sudah teruji dan sudah banyak digunakan. Sedangkan siklus *sulfur-iodine* merupakan

proses termokimia yang sedang dalam tahap pengembangan. (K. Mazloomi & C. Gomes, 2012)

Metode lainnya untuk produksi hidrogen juga dapat dilakukan dengan melakukan proses elektrolisis air dengan menambah larutan elektrolit untuk mempercepat reaksi reduksi oksidasi dengan menghantarkan daya listrik (S. A. Sherif, 2019). Larutan elektrolit direaksi dengan menggunakan arus listrik sehingga menghasilkan gas Hidrogen dan Oksigen (HHO) atau *Oxyhydrogen*. Gas *Oxyhydrogen* inilah yang bisa dijadikan bahan bakar utama ataupun pendamping pada *Internal Combustion Engine* (ICE). (Murjito, 2015)

Teknologi elektrolisis yang memanfaatkan matahari sebagai sumber energy listrik merupakan teknologi produksi hidrogen yang ramah lingkungan dan saat ini banyak dikembangkan. Di Indonesia yang merupakan daerah tropis mempunyai potensi energi matahari yang sangat besar dengan tingkat irradiasi matahari harian rata-rata 4,5-4,8 kWh/m²/hari (A. M. Putra, 2012). Namun seperti yang diketahui intensitas energi matahari tidaklah konstan atau bervariasi sesuai dengan kondisi cuaca.

Pemanfaatan teknologi *cell photovoltaic* (PV) yang mampu mengonversi radiasi matahari menjadi energi listrik memungkinkan produksi hydrogen dengan metode hidrolisis dapat dipadukan. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan dan penelitian untuk mengetahui kesesuaian besarnya energi *Input* yang dibutuhkan oleh suatu instalasi generator HHO dengan perencanaan sistim instalasi panel PV sehingga diperoleh suatu sistem yang optimal dan efisien, (Made & Wahyono, 2012).

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka pada penelitian ini akan dilakukan pengujian suatu generator untuk memproduksi gas HHO dengan memanfaatkan sumber energi listrik yang berasal dari panel PV (*solar cell*) yang memanfaatkan sumber energi matahari. Gas HHO selanjutnya digunakan sebagai penghematan bahan bakar pada suatu generator set (*genset*).

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan diatas, maka dapat dijelaskan rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Faktor-faktor apa yang berpengaruh pada suatu generator HHO untuk menghasilkan gas HHO secara optimal?
2. Bagaimana karakteristik *performance* suatu generator HHO ditinjau dari besarnya energi *Input* dan laju produksi HHO?
3. Berapa kebutuhan gas HHO yang sesuai dengan kebutuhan generator set?

1.3. Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup pada penelitian ini difokuskan pada pengujian suatu generator HHO tipe basah dan tipe kering yang mendapat suplai energi listrik DC dari suatu panel PV untuk mencapai kerja optimum dalam memproduksi gas HHO dengan memvariasikan beberapa parameter seperti; molaritas larutan elektrolit, tegangan, dan arus *Input*.

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan diatas, adapun tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah :

1. Menentukan kondisi kerja optimum generator HHO.
2. Mengetahui nilai efisiensi yang dihasilkan dari generator HHO.
3. Menentukan jumlah produksi minimum HHO yang sesuai dengan kebutuhan genset yang menghasilkan nilai *Spesific Fuel Consumption* (SFC) optimum.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini antara lain sebagai berikut :

1. Dapat menjadi referensi dalam pengembangan energi baru terbarukan khususnya gas Hidrogen dalam upaya penghematan bahan bakar kedepannya.
2. Dapat menjadi salah satu upaya dalam pemanfaatan potensi energi matahari di Indonesia yang dikombinasikan pada proses produksi gas HHO.

BAB II

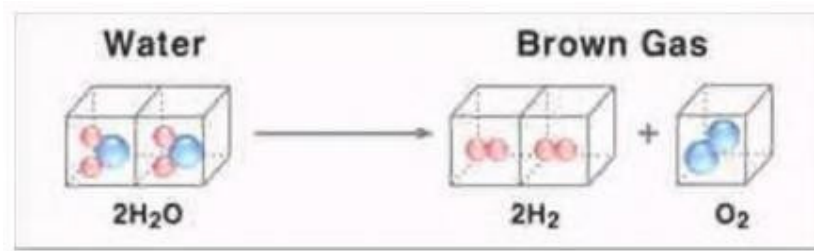
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gas HHO (Hidrogen Hidrogen Oksida)

Bahan bakar pada umumnya berasal dari bahan-bahan hidrokarbon, salah satunya adalah minyak bumi. Bahan bakar tersebut tersusun atas karbon dan hidrogen. Tetapi hidrogen saja dapat dijadikan bahan bakar layaknya bahan bakar hidrokarbon. Jika bahan bakar hidrokarbon umumnya didapat dari bahan bakar fosil, bahan bakar hidrogen umumnya diperoleh dengan cara elektrolisis dari berbagai sumber, salah satunya adalah air.

Air adalah suatu substansi kimia dengan rumus kimia H_2O dimana dalam satu molekul air tersusun atas dua atom Hidrogen yang terikat pada satu atom Oksigen. Kedua senyawa yang membentuk air ini merupakan komponen pokok dan mendasar dalam memenuhi kebutuhan seluruh makhluk hidup sebagai sumber energi.

Melalui proses pemecahan air murni (H_2O), molekul air dapat diuraikan menjadi unsur-unsur asalnya dengan mengalir arus listrik atau disebut proses elektrolisis. Gas yang dihasilkan dari proses elektrolisis air tersebut adalah gas Hidrogen dan Oksigen, dengan komposisi 2 atom Hidrogen dan 1 atom Oksigen atau biasa disebut juga sebagai gas Hidrogen Hidrogen Oksida (HHO) (Peter E.W Lowrie, 2005). Skema pemecahan molekul air menjadi gas HHO dapat dilihat pada gambar 2.1 pemecahan molekul air (H_2O) menjadi gas HHO.



Gambar 2. 1 Pemecahan molekul air menjadi gas HHO
(Sumber : Ghiffari, 2013)

Awal pertama kalinya gas Hidrogen Hidrogen Oksida (HHO) diaplikasikan dimulai pada tahun 1805 oleh Isaacde Rivaz (1752-1828). Isaac de rivaz menggunakan Gas HHO sebagai bahan bakar mesin pembakaran internal (*Poempida Hidayatullah dan F.Mustari, 2008*). Pada saat itu bahan bakar fosil belum ditemukan. Namun, gas hasil dari elektrolisis air tersebut baru diberi nama dan dipatenkan oleh ilmuwan bernama Dr. Yull Brown pada tahun 1974. Gas hasil dari elektrolisis air tersebut diberi nama *Brown gas*.

Perbandingan nilai energi yang dimiliki oleh hidrogen paling besar diantara *gas fuel* yang lain, seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.1. perbandingan nilai *properties* termokimia pada kondisi atmosfer.

Tabel 2. 1 Perbandingan Nilai *Properties* Termokimia pada Kodisi Atmosfer

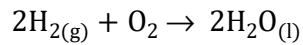
TABLE A-25 Thermochemical Properties of Selected Substances at 298K and 1 atm

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

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

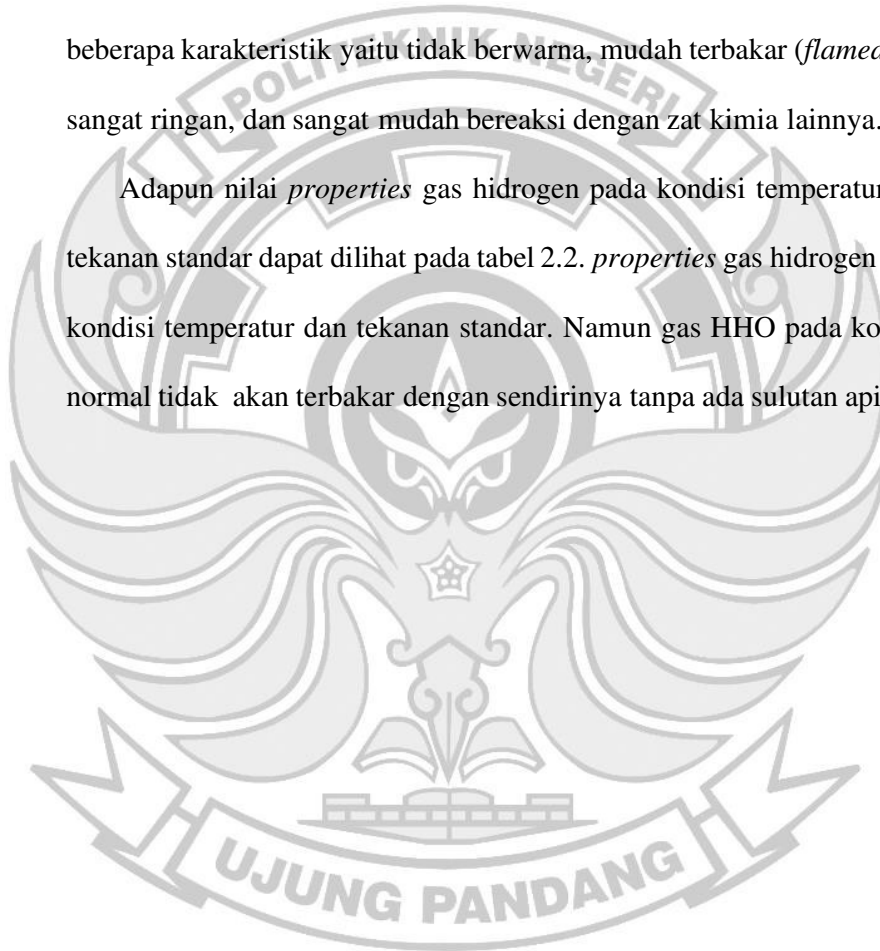
2.1.1. Karakteristik Browns Gas (HHO)

Browns gas (HHO) yang dihasilkan dari proses elektrolisis air 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 elektrolisis air. Jika pada proses elektrolisa untuk memecah molekul air membutuhkan energi, maka sebaliknya pada reaksi oksidasi hidrogen dihasilkan sejumlah energi. Gas hidrogen mempunyai beberapa karakteristik yaitu tidak berwarna, mudah terbakar (*flameable*), sangat ringan, dan sangat mudah bereaksi dengan zat kimia lainnya.

Adapun nilai *properties* gas hidrogen pada kondisi temperatur dan tekanan standar dapat dilihat pada tabel 2.2. *properties* gas hidrogen pada kondisi temperatur dan tekanan standar. Namun gas HHO pada kondisi normal tidak akan terbakar dengan sendirinya tanpa ada sulutan api.



Tabel 2. 2 *Properties* Gas Hidrogen Pada Kondisi Temperatur dan Tekanan Standar

<i>Reference Temperature</i>	68° F	527,7° R	293,1° K
<i>Standard Pressure</i> (1 atm) psia	14.69 kPa	101.325 abs	
<i>Density</i> (at 527,7° R & 1 atm)	0.00523 lb/ft ³	83.7 g/m ³	
<i>Specific Volume</i> (at 527,7° R & 1 atm)	191.4 ft ³ /lb	0.0119 m ³ /g	
<i>Specific Heat</i>	C _p = 3.425 Btu/lb-R C _v = 2.419 Btu/lb-R	C _p = 14.33 J/g-k C _v = 10.12 J/g-k	
<i>Velocity of Sound</i>	4246 ft/sec	1294 m/sec	
<i>Heat of Combusion</i>	<i>Low</i> = 51596 Btu/lb <i>High</i> = 61031 Btu/lb	<i>Low</i> = 119.93 kJ/g <i>High</i> = 141.86 kJ/g	
<i>Falmmability limit</i> <i>Hydrogen-air-mixture</i> <i>Hydrogen-Oxygen mixture</i>	<i>Lower</i> = 4.0 % Volume <i>Lower</i> = 4.0 % Volume	<i>Upper</i> = 75% Volume <i>Upper</i> = 75 % Volume	
<i>Explosive limits</i> <i>Hydrogen-air mixture</i> <i>Hydrogen-Oxygen mixture</i>	<i>Lower</i> = 18.3 % Volume <i>Lower</i> = 15.0 % Volume	<i>Upper</i> = 59 % Volume <i>Upper</i> = 90 % Volume	
<i>Minimum spark ignition energy at 1 atm</i>			
<i>In Air</i>	1.9 x 10 ⁻⁸ Btu	0.02 mJ	
<i>In Oxygen</i>	6.6 x 10 ⁻⁹ Btu	0.007 mJ	

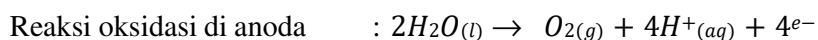
Sumber : NASA Glenn Research Center Glenn Safety Manual(Ken O'Connor, 2006)

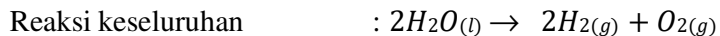
2.2. Produksi Gas HHO dengan Proses Elektrolisis Air

Elektrolisis adalah suatu proses pemisahan senyawa kimia menjadi unsur dasar penyusun atau memproduksi suatu molekul baru dengan penambahan energi dalam bentuk arus listrik (Anne Marie Helmenstine, 2001).

Sedangkan elektrolisis air adalah proses elektrolisa yang dimanfaatkan untuk memecah molekul air (H_2O) menjadi unsur dasar penyusunnya, yaitu Hidrogen (H_2) dan Oksigen (O_2). Elektrolisis air pada dasarnya dilakukan dengan mengalirkan arus listrik ke air melalui dua buah elektroda yaitu katoda (elektroda negatif) dan Anoda (elektroda positif). Agar proses elektrolisa dapat terjadi dengan cepat maka air tersebut dicampur dengan elektrolit sebagai katalis.

Adanya peristiwa elektrolisis air menyebabkan atom-atom oksigen mendapat tambahan elektron, atom oksigen menjadi sebuah ion bermuatan negatif (O^-). Sedangkan atom-atom hidrogen dari air akan kehilangan elektronnya, atom hidrogen menjadi sebuah ion yang bermuatan positif (H^+). Karena bermuatan positif, ion-ion H^+ akan tertarik dan berkumpul di katoda, pada saat menyentuh katoda ion H^+ akan menerima sebuah elektron dan kembali menjadi sebuah atom H biasa tanpa bermuatan. Atom-atom hidrogen bergabung menjadi gas H_2 dalam bentuk gelembung-gelembung, melalui katoda akan naik keatas keluar dari tabung. Berikut adalah reaksi yang terjadi pada elektrolisis air.





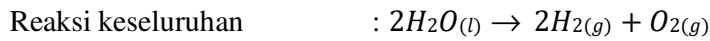
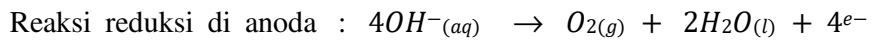
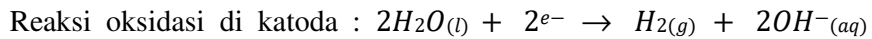
Agar proses elektrolisis dapat terjadi dengan cepat maka diperlukan penambahan katalis ke dalam air. Penambahan katalis dalam larutan air disebut elektrolit. katalis yang digunakan dalam elektrolisis ada 3 jenis yaitu basa, asam, dan asam basa. Untuk larutan basa dicontohkan dengan penggunaan katalis KOH, NaOH dan sebagainya. Larutan asam menggunakan katalis H_2SO_4 pada elektrolit. Adapun jenis larutan asam basa dihasilkan dari campuran katalis NaCl (garam), KCl, dan Na_2CO_3 . Tipikal beberapa katalis terlihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Jenis Katalis terhadap Konduktifitas pada Temperatur $298K \cong 24.85^\circ C$

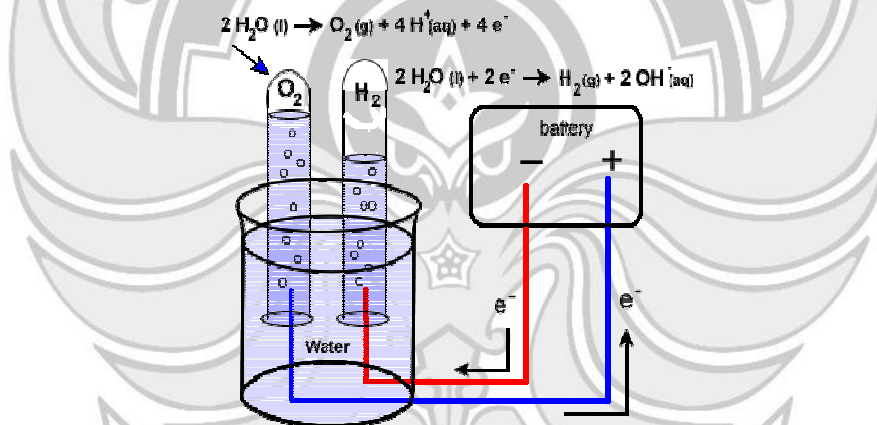
Jenis Katalis	$k/\Omega^{-1} \cdot cm^{-1}$		
	$0,1 \text{ mol dm}^{-3}$	1 mol dm^{-3}	10 mol dm^{-3}
NaCl (garam)	0,011	0,086	0,247
KOH (basa)	0,025	0,223	0,447
H_2SO_4 (asam)	0,048	0,246	0,604

Sumber : Pletcher, 1990

Jika elektrolit yang digunakan adalah larutan basa seperti KOH atau NaOH (basa dari golongan periode IA, alkali tanah) maka akan terjadi reaksi basa. Pada reaksi basa, reaksi reduksi terjadi di katoda dimana molekul air mengikat elektron (e^-) sehingga terpecah menjadi gas Hidrogen ($H_{2(g)}$) dan anion OH^- . Anion OH^- tersebut kemudian tertarik kesisi anoda dan terpecah menjadi gas oksigen dan molekul $H_2O(l)$, Reaksi kimia pada proses elektrolisis air dengan menggunakan kalium hidroksida (KOH) ditunjukkan sebagai berikut :



Akan tetapi jika elektrolit yang digunakan dari jenis garam seperti NaCl, KCl, dan Na_2CO_3 , maka akan terjadi reaksi asam dan basa. Dari kedua reaksi asam ataupun basa dapat dilihat bahwa pada kedua reaksi tersebut produk yang dihasilkan dari elektrolisa 2 mol H_2O memiliki komposisi yang sama yaitu 2 mol gas Hidrogen dan 1 mol gas Oksigen. Berikut adalah rangkaian dasar sistem elektrolisis air.



Gambar 2. 2 Rangkaian dasar sistem elektrolisa
(Sumber : Nofriyandi,2014)

Pada kedua jenis reaksi diatas gas Hidrogen juga dihasilkan pada elektroda negatif (katoda) dan gas oksigen dihasilkan pada elektroda positif (anoda).

2.3. Generator HHO

2.3.1. Prinsip Kerja Generator HHO

Secara umum generator gas HHO tersusun atas 2 komponen dasar, yaitu tabung generator gas HHO dan sumber tenaganya. Tabung generator gas HHO terdiri atas tabung, sepasang elektroda dan elektrolit. Sedangkan sumber energi dapat berupa baterai ataupun aki.

Prinsip kerja generator gas HHO berdasarkan elektrolisa air. Proses elektrolisis air pada generator gas HHO menghasilkan gas hidrogen dan oksigen. Seiring berjalannya waktu, proses elektrolisis terus berlangsung hingga volume dan gelembung gas hidrogen dan oksigen yang melekat pada elektroda akan bertambah, kemudian terlepas mengapung, dan akhirnya bergeraknaik.

Hasil dari penelitian, sebagian ahli menyebutkan bahwa gas yang tercipta akan berikatan satu sama lain menjadi gas HHO. Gas HHO terdiri dari dua ion H^+ yang berikatan magnetik (ikatan magnetik) dan mengikat satu ion O_2^- (R.M.Santili, 2006), berbeda dengan molekul H_2O yang tersusun atas dua ion H^+ diikat oleh satu ion O_2^- dengan ikatan kovalen. Pendapat ini masih terus diperdebatkan karena belum ada alat untuk membuktikan bahwasanya kedua gas tersebut berikatan sebagaimana pengertian gas HHO. Sehingga, dalam penulisan penelitian ini, gas Hidrogen dan Oksigen yang terbentuk diasumsikan tidak berikatan satu sama lain, dan selanjutnya campuran kedua gas tersebut tetap disebut sebagai Gas HHO.

2.3.2. Klasifikasi Generator HHO

Generator gas HHO diklasifikasikan menjadi 2 tipe yaitu tipe basah (*wet type/wet cell*) dan tipe kering (*dry type/dry cell*).

a. Generator HHO Tipe *Wet Cell*

Tipe basah (*wet type*) adalah generator HHO dengan keseluruhan luasan penampang elektroda terendam didalam elektrolit. Keuntungan generator gas HHO tipe *wet cell* adalah :

- Gas yang dihasilkan umumnya lebih banyak dan stabil karena luasan penampang yang lebih besar.
- Perawatan generator lebih mudah karena tanpa membongkar pasang seperti pada *dry cell*
- Rancang bangun generator HHO lebih simpel karena tidak perlu penambahan seal dan komponen pembangun lain seperti pada *dry cell*



Gambar 2. 3 Generator gas HHO tipe *wet cell*
(Sumber : Ghiffari, 2013)

b. Generator HHO Tipe Dry Cell

Tipe kering (*dry type/dry cell*) adalah generator gas HHO dengan elektroda yang tidak terendam elektrolit keseluruhan. Elektrolit hanya berinteraksi dengan luasan penampang diantara elektroda. Keuntungan generator gas HHO tipe *dry cell* adalah :

- Elektrolit lebih sedikit karena kebutuhan sesuai dengan luasan penampang dan jarak antar elektroda.
- Panas yang ditimbulkan relative kecil, karena selalu terjadi sirkulasi antara elektrolit dielektroda dengan elektrolit direservoir (temperatur relatif tetap).
- Arus listrik (Ampere) yang digunakan relatif lebih kecil, karena daya yang terkonversi menjadi panas minim.



Gambar 2. 4 Generator gas HHO tipe *dry cell*
(Sumber : Sudarmanta bambang dkk, 2016)

2.4. Plat Elektroda

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

Pemakaian *stainless steel* sebagai elektroda pada percobaan ini, karena pada dasarnya *stainless steel* merupakan baja paduan logam besi (Fe) dengan unsur paduan utama Carbon (C), Nikel (Ni), dan Chromium (Cr). *Stainless steel* merupakan logam paduan yang memiliki konduktifitas dan ketahanan terhadap korosi yang relatif lebih baik dibandingkan logam-logam paduan ataupun logam murni lainnya dan harganya juga relatif lebih terjangkau.

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

1. *Austenitic Stainless steel.*
2. *Duplex Stainless steel (austenitic-feritic).*
3. *Ferritic Stainless steel.*
4. *Martensitic Stainless steel.*
5. *Precipitation Hardening Stainless steel.*

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

Tabel 2. 4 Standar Komposisi *Stainless Steel*

Designation	Type	Composition weight-%						Others
		Cr	Ni	Mo	C	Mn	Si	
AISI 300 Series:								
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	—
AISI 200 Series:								
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
AISI 400 Series:								
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	—
Duplex Steels:								
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	—	—	—
Precipitation-Hardening Steels:								
Steel 1	Precipitation	16	4.2	—	0.04	0.5	0.5	3.5 Cu
Steel 2	Precipitation	15	4.5	—	0.04	0.3	0.4	3.5 Cu + Nb

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

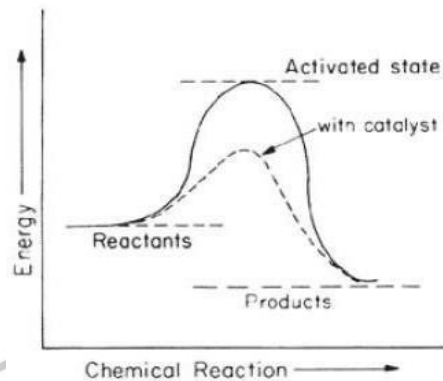
Sumber : *Corrosion Science and Technology (DavidTabolt,1998)*

Berdasarkan tabel 2.3 diatas dapat dilihat bahwa *stainless steel* tipe SS 316, 316L, 316N, 317, 329, dan 330 mempunyai ketahanan korosi diberbagai lingkungan, sehingga *stainless steel* tipe ini sangat cocok digunakan sebagai elektroda pada proses elektrolisa air untuk memproduksi gas HHO.

Salah satunya *Stainless steel* tipe SS 316L merupakan *stainless steel* yang relatif banyak tersedia dipasaran. SS 316L merupakan *stainless steel* yang memiliki ketahanan terhadap korosi sangat baik sehingga dapat dijadikan sebagai elektroda generator HHO.

2.5. Larutan Elektrolit

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



Gambar 2. 5 Grafik Hubungan antara Reaksi Kimia terhadap Energi yang Dibutuhkan Untuk Terjadinya Reaksi (Sumber : J.R.Rossum, 2000)

Banyak jenis katalis yang digunakan pada proses elektrolisis. Diantaranya yang sering digunakan yaitu sodium bikarbonat (NaHCO_3), natrium hidroksida (NaOH), dan kalium hidroksida (KOH). Selain itu, katalis tersebut berfungsi untuk mempermudah proses penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen karena ion-ion katalisator mampu mempengaruhi kestabilan molekul air menjadi ion H dan OH yang lebih mudah dielektrolisis. Dengan kata lain energi untuk menguraikan air menjadi lebih rendah.

2.6. Parameter Unjuk Kerja Generator HHO

Parameter unjuk kerja menunjukkan kemampuan generator HHO dalam memproduksi gas HHO. Kemampuan generator HHO dalam memproduksi gas HHO diindikasikan dari besarnya efisiensi. Efisiensi generator HHO dipengaruhi dari *input*-an berupa konsumsi daya listrik dan outputan berupa laju produksi gas HHO serta kebutuhan energi untuk memproduksi gas setiap kilogramnya terindikasi dari produksi gas HHO spesifik. Ada beberapa

parameter yang harus diperhatikan dalam menganalisa performa generator HHO antara lain sebagai berikut :

2.6.1. Daya yang Dibutuhkan Generator HHO (PHHO)

Gas HHO dihasilkan dari proses elektrolisa air, elektrolisa membutuhkan energi listrik. Energi listrik ini diperoleh dari baterai yang merupakan sumber tegangan searah (DC). Daya yang dibutuhkan untuk pengoperasian generator HHO dihitung dengan menggunakan Persamaan 2-1 (Young, 2003).

$$P_{HHO} = V_{HHO} \times I_{HHO} \dots\dots\dots (2-1)$$

Keterangan :

P_{HHO} : Daya listrik generator HHO (W)

V_{HHO} : Tegangan listrik generator HHO (V)

I_{HHO} : Arus listrik generator HHO (A)

Pengukuran arus listrik digunakan amperemeter yang dipasang secara seri pada rangkaian kelistrikan generator HHO, dan pengukuran tegangan listrik digunakan voltmeter yang dipasang secara paralel pada rangkaian kelistrikan generator HHO.

2.6.2. Pengaruh Konsentrasi Katalis dalam Larutan (Fraksi Massa)

Fraksi massa adalah rasio dari massa zat terlarut terhadap jumlah massa zat total larutan (massa pelarut ditambah massa terlarut). Pada penelitian ini zat terlarutnya adalah NaOH atau KOH dan zat pelarutnya adalah air. Perhitungan fraksi massa dapat dilihat pada persamaan (2-2).

$$fraksi\ Massa = \frac{Massa\ Katalis\ (gr)}{Massa\ Total\ (gr)} \times 100\%$$

$$\text{fraksi Massa} = \frac{\text{Massa Katalis}}{(\text{Massa Air} + \text{Massa Katalis})} \times 100\% \dots\dots\dots (2-2)$$

2.6.3. Laju Produksi/Flowrate Massa gas HHO (\dot{m}_{HHO})

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

Untuk menghitung *mass flowrate* gas HHO dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$\dot{m}_{HHO} = Q_{HHO} \times \rho_{HHO} \dots\dots\dots (2-3)$$

Keterangan :

\dot{m}_{HHO} : Laju Produksi Gas HHO (kg/s)

Q_{HHO} : Debit Produksi Gas HHO (m³/s)

ρ_{HHO} : Massa Jenis HHO (kg/m³)

Nilai debit produksi gas HHO dapat dihitung dengan persamaan (2-4).

$$Q_{HHO} = \frac{V_{HHO}}{t_{HHO}} \dots\dots\dots (2-4)$$

Keterangan :

V_{HHO} : Volume Gas Terukur (m³)

t_{HHO} : Waktu Produksi Gas HHO (s)

Nilai massa jenis gas HHO (ρ_{HHO}) digunakan untuk menghitung laju produksi gas HHO. Pada STP (ideal) massa jenis H₂, $\rho_{H_2} = 0,08235 \text{ gr/ltr}$ dan O₂, $\rho_{O_2} = 1,3088 \text{ gr/ltr}$ (Cole, 2005), maka ρ_{HHO} dihitung dengan persamaan (2-5).

$$\begin{aligned}
\rho_{HHO} &= \frac{m_{HHO}}{V_{HHO}} \dots\dots\dots (2-5) \\
&= \frac{m_{H_2} + m_{O_2}}{V_{HHO}} \\
&= \frac{(\rho_{H_2} \times V_{H_2} + \rho_{O_2} \times V_{O_2})}{V_{HHO}} \\
&= \frac{(\rho_{H_2} \times \frac{2}{3} V_{HHO} + \rho_{O_2} \times \frac{1}{3} V_{HHO})}{V_{HHO}} \\
&= \frac{2}{3} \rho_{H_2} + \frac{1}{3} \rho_{O_2} \\
&= (\frac{2}{3} \times 0,08233 \frac{gr}{L}) + (\frac{1}{3} \times 1,3088 \frac{gr}{L}) \\
&= 0,491167 \text{ gr/L}
\end{aligned}$$

2.6.4. Efisiensi Generator HHO (η_{HHO})

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

$$\eta_{HHO} = \frac{\text{Energi yang yang dihasilkan elektrolisis (output)}}{\text{energi yang dibutuhkan generator HHO (input)}} \times 100\% \dots\dots\dots (2-6)$$

Pada generator HHO *output* adalah produk elektrolisis air berupa gas HHO. Gas HHO yang terdiri dari gas H₂ dan O₂ 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 H₂).

Dari persamaan reaksi kimia elektrolisis air (H₂O) dapat diketahui besar kandungan massa H₂ dalam gas HHO. Jika massa H₂O yang dielektrolisis sebanyak 1 kg, maka massa produk total H₂ dan O₂ juga 1 kg, sehingga dengan mengetahui nilai Mr H₂O=18, Mr H₂=2, Mr O₂=32, maka didapatkan mole H₂ :



Dari perbandingan *mole* pada persamaan reaksi kimia elektrolisis air dihitung berapa massa H₂ dalam 1 kg gas HHO dengan menggunakan Persamaan (2-8).

$$\frac{Mol}{Massa} = \frac{1}{Mr} \dots\dots\dots (2-8)$$

Dari perbandingan mol pada persamaan reaksi kimia elektrolisis air dapat dihitung besarnya massa H₂ dalam 1 kg gas HHO, yaitu :

$$m_{H_2} = Mr_{H_2} \times mol_{H_2O} = 2 \times \frac{1 \text{ kg}}{18} = \frac{1}{9} \text{ kg}$$

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

$$n_{H_2} = \frac{Koefisien H_2}{Koefisien H_2O} \times n_{H_2O} = \frac{2}{2} \times 0,056 = 0,056 \text{ mol}$$

$$m_{H_2} = n_{H_2O} \times Mr_{H_2O} = 0,056 \text{ mol} \times \frac{2 \text{ kg}}{\text{mol}} = 0,112 \text{ kg}$$

Jadi massa H₂ dalam gas HHO sebesar 1/9 massa total gas HHO, maka NKB (nilai kalor bawah) gas HHO adalah 1/9 kali NKB gas H₂ yaitu = 1/9 x 119.950 kJ/g = 13.327,78 kJ/g atau 13,327 MJ/kg.

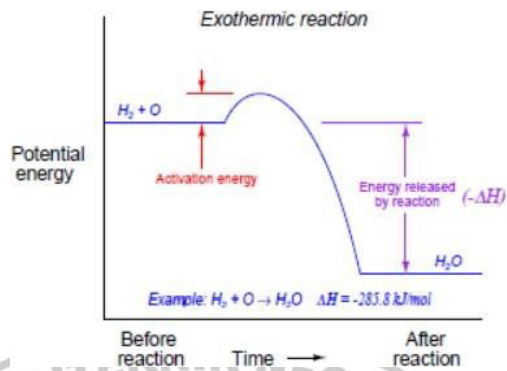
Perubahan entalpi pembakaran standar adalah perubahan entalpi total pada suatu sistem reaksi (dimana reaktan dan produk reaksi dinyatakan

sebagai sistem termodinamik) yang terjadi ketika satu molekul bereaksi sempurna dengan oksigen yang terjadi pada 298°K dan tekanan atmosfer 1 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 tersimpan didalamnya. Energi potensial berkaitan dengan wujud zat, volume, dan tekanan. Energi kinetik ditimbulkan karena atom-atom dan molekul-molekul dalam zat bergerak secara acak. Jumlah total dari semua bentuk energi itu disebut entalpi (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 proses penerimaan atau pelepasan kalor dinyatakan dengan perubahan entalpi (Δh). Perubahan entalpi didalam zat saat menerima atau melepaskan energi dideskripsikan sebagai berikut :

a. Reaksi Eksoterem

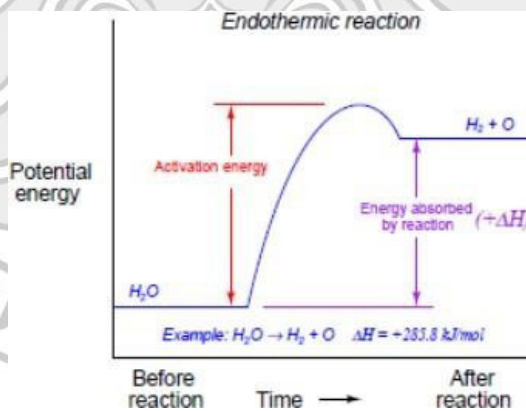
Reaksi eksoterem terjadi saat pelepasan panas dari sistem ke lingkungan, temperatur dari campuran reaksi meningkat dan energi potensial dari zat- zat kimia menurun terlihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Reaksi Eksoterem
(Sumber : Kuphaldt, 2012)

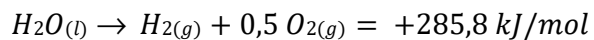
b. Reaksi Endoterem

Reaksi endoterem terjadi saat penyerapan panas dari lingkungan ke sistem, temperatur dari campuran reaksi menurun dan energi potensial dari zat-zat kimia meningkat terlihat pada Gambar 2.7.



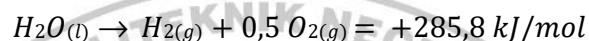
Gambar 2. 7 Reaksi Endoterem
(Sumber : Kuphaldt, 2012)

Pada reaksi penguraian air :



adalah reaksi endoterem yang menghasilkan energi entalpi yang bernilai positif (+). Energi entalpi yang dihasilkan adalah :

$$\Delta h = +285,8 \times 10^3 \text{ J/mol}$$



adalah reaksi eksoterem yang menghasilkan energi entalpi yang bernilai negatif (-). Energi entalpi yang dihasilkan adalah :

$$\Delta h = -285,8 \times 10^3 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

Sedangkan energi ikatan yang dibutuhkan adalah melalui penurunan persamaan gas ideal pada kondisi STP terlihat pada persamaan (2-9) :

$$PV = n\bar{R} T \dots\dots\dots(2-9)$$

Dimana :

P = Tekanan gas ideal (atm)

V = Volume gas terukur (L)

n = Molaritas senyawa (mol)

\bar{R} = Konstanta gas ideal (L.atm/mol.K)

T = Temperatur, 298,15 K \approx 25 °C

Energi ikatan didefinisikan sebagai energi yang diperlukan untuk memutuskan 1 mol ikatan dari suatu molekul dalam wujud gas. Energi ikatan dinyatakan dalam kilo joule per mol (kJ mol^{-1}). Untuk menghilangkan nilai per mol dari entalpi dan merubah nilai *Input* dari daya dengan satuan watt (J/s), maka volume gas dan mol digunakan satuan per

waktu. Persamaan gas ideal dengan penggunaan satuan per waktu terlihat pada Persamaan (2-10) :

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

$$\dot{n} = \frac{P \dot{V}}{\bar{R}T} \dots\dots\dots(2-10)$$

Dimana :

\dot{V} : Volume per Waktu (liter/s)

\dot{n} : Molaritas senyawa per Waktu (mol/s)

sehingga dihasilkan nilai efisiensi dalam presentase pada Persamaan (2-11) :

$$\eta_{HHO} = \frac{\text{Energi yang digunakan untuk elektrolisis (output)}}{\text{energi yang dibutuhkan generator HHO (input)}} \times 100\%$$

$$= \frac{\Delta h \times \dot{n}}{(V \times I)} \times 100\% \dots\dots\dots(2-11)$$

Selain persamaan (2-12), efisiensi generator HHO dapat diperoleh nilai dengan variabel data debit aliran gas, massa jenis HHO, nilai konstanta *low heating value*, dan daya produksi pada gas oxyhydrogen. Nilai massa jenis yang diperoleh dari suatu keadaan ideal (STP) serta konstanta nilai kalor bawah pada gas HHO sebesar 119930 J/g. Dalam analisis efisiensi ini, nilai daya produksi dan debit gas oxyhydrogen sangat berpengaruh terhadap persentase efisiensi yang diukur. Dimana persamaan tersebut adalah sebagai berikut .

$$\eta_{HHO} = \frac{Q_{HHO} \times \rho_{HHO} \times LHV_{HHO}}{P_{HHO}} \dots\dots\dots(2-12)$$

Keterangan :

LHV : 119930 J/g

2.6.5. Efisiensi Penggunaan Bahan Bakar HHO

- **Nilai Volume Rate Bahan Bakar Bensin**

$$V_{bb} = \frac{l}{t} \dots\dots\dots(2-13)$$

Keterangan :

V_{bb} : Volume rate bahan bakar bensin (L/s)

l : Volume tanki bahan bakar (L)

t : Waktu konsumsi bahan bakar (s)

- **Daya Input Genset**

$$P_{in} = V_{bb} \times HHV \dots\dots\dots(2-14)$$

Keterangan :

P_{in} : Daya Input Genset (kW)

HHV (*Higher Heating Value*) Pertalite : 34,381 kJ/L

V_{bb} : Volume rate bahan bakar bensin (L/s)

- **Daya Output Genset**

$$P_{out} = \frac{V \times I \times \cos \phi}{1000} \dots\dots\dots(2-15)$$

Keterangan :

P_{out} : Daya output Genset (kW)

V : Tegangan (V)

I : Arus (A)

$\cos \phi$: Beban Resistif = 1

- **Daya Efektif *Engine***

$$P_e = \frac{V \times I}{0,85 \times 1000} \dots\dots\dots (2-16)$$

Keterangan :

P_e : Daya efektif *engine* (kW)

0,85 : Asumsi efisiensi generator 85 %

- **SFC (*Specific Fuel Consumption*)**

Konsumsi spesifik bahan bakar merupakan ukuran pemakaian bahan bakar oleh suatu *engine*, yang diukur dalam satuan massa bahan bakar per satuan keluaran energi atau juga dapat didefinisikan sebagai laju aliran bahan bakar yang dipakai oleh *engine* untuk menghasilkan tenaga. Konsumsi bahan bakar spesifik ini dapat dijadikan ukuran ekonomis dan tidaknya pemakaian bahan bakar. Besarnya nilai SFC dapat dihitung dengan persamaan :

$$SFC = \frac{V_{bb} \times \rho_{bb} \times 3600}{P_e} \dots\dots\dots (2-17)$$

Keterangan :

SFC : *Specific fuel consumption* (kg/kWh)

V_{bb} : Volume *rate* bahan bakar bensin (L/s)

ρ_{bb} : Massa jenis bahan bakar untuk jenis *pertalite* 0,77 kg/L

P_e : Daya Spesifik (kW)

2.7. Panel Surya

Panel surya merupakan salah satu alat yang dikembangkan oleh ilmuwan untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Para ilmuwan

mengembangkan panel surya berdasarkan prinsip konversi energi sel surya menjadi energi listrik melalui hukum kekekalan energi. Sel surya sendiri merupakan komponen yang terbuat dari bahan semikonduktor yaitu silikon atau germanium yang memiliki daya absorpsi panas yang lebih baik dibandingkan dengan material lainnya. Sel surya ini membutuhkan cahaya yang berasal dari radiasi matahari yang membawa energi foton untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik.

Panel surya dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik berdasarkan prinsip efek Photovoltaic. Yang dimaksud dengan efek Photovoltaic adalah suatu fenomena munculnya tegangan listrik sebab adanya hubungan atau kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cair saat mendapat sinar matahari. Oleh karena itu, sel surya atau solar cell biasa juga disebut dengan *Photovoltaic Cell* (PV). Hal yang mempengaruhi kinerja *photovoltaic* yang berbahan silikon adalah temperatur dan intensitas matahari yang masuk ke sel surya.

Dalam beberapa tahun terakhir, sumber energi listrik terbarukan sangat dianjurkan. Salah satu sumber energi listrik terbarukan yang populer saat ini yaitu pembangkit listrik tenaga surya. Dengan memanfaatkan sel photovoltaic pada panel surya maka cahaya matahari akan dikonversi langsung menjadi energi listrik. Namun pada saat pengoperasian, panel surya hanya dapat mengkonversi sekitar 15% dari radiasi matahari dan sisanya akan terkonversi menjadi panas, yang mengakibatkan penurunan efisiensi panel surya ketika temperatur meningkat (Widodo dkk., 2015:39).

Panel surya memiliki bentuk, jenis dan kemampuan yang berbeda, berikut beberapa jenis panel surya:

a. *Monocrystalline* (Kristal Tunggal)

Jenis modul surya monocrystalline (Kristal Tunggal) merupakan jenis modul yang memiliki efisiensi yang cukup tinggi yaitu sekitar 16% hingga 17%. Monocrystalline terbuat dari batangan kristal silicon murni yang diiris tipis sebagai bahan utama penyusun sel surya. Secara fisik, jenis ini memiliki warna sel hitam gelap dengan model terpotong pada tiap sudutnya. Kelemahan dari jenis modul ini adalah tidak berfungsi dengan baik ketika cahaya matahari kurang (teduh) dan efisiensinya akan turun drastis. (Pattiasina, Andante. 2022)

b. *Polycrystalline* (Multi Kristal)

Bahan *polycrystalline* (Multi Kristal) diciptakan karena harga untuk jenis ini cenderung lebih murah dibandingkan jenis *monocrystalline* (Kristal Tunggal). *Polycrystalline* terbuat dari beberapa batang kristal silikon yang dilebur/dicairkan kemudian dituangkan ke dalam cetakan berbentuk persegi. Kemurnian kristal silikonnya tidak sempurna pada sel surya *monocrystalline*. Efisiensi jenis modul ini lebih kecil dibandingkan jenis *monocrystalline* yaitu mencapai 12% hingga 14%. *Polycrystalline* dapat menghasilkan listrik walaupun keadaan cahaya matahari yang kurang (mendung). (Ant. Ardath Kristi1, dkk. 2020)

c. *Thin Film Photovoltaic*

Berbeda dengan *monocrystalline* dan *polycrystalline*, *thin film photovoltaic* merupakan panel surya dengan struktur lapisan yang tipis. Berdasarkan materialnya jenis modul ini digolongkan menjadi:

- *Amorphous Silicon (a-Si) Solar Cells.*

Sel surya dengan bahan Amorphous Silicon ini, awalnya banyak diterapkan pada kalkulator dan jam tangan. Dengan teknik produksi yang disebut "*stacking*" (susun lapis), dimana beberapa lapis Amorphous Silicon ditumpuk membentuk sel surya, akan memberikan efisiensi yang lebih baik antara 6% - 8%.

- *Cadmium Telluride (CdTe) Solar Cells.*

Sel surya jenis ini mengandung bahan *Cadmium Telluride* yang memiliki efisiensi lebih tinggi dari sel surya *Amorphous Silicon*, yaitu sekitar: 9% - 11%.

- *Copper Indium Gallium Selenide (CIGS) Solar Cells.*

Dibandingkan kedua jenis sel surya *thin film* di atas, CIGS sel surya memiliki efisiensi paling tinggi yaitu sekitar 10% - 12%. Selain itu jenis ini tidak mengandung bahan berbahaya Cadmium seperti pada sel surya CdTe (Sari, Indah Permata. 2022).

2.8. Sistem Penyimpanan Energi (*Energy Storage*)

Sistem penyimpanan energi listrik dapat dilakukan dengan menggunakan baterai. Baterai adalah sebuah sel listrik dimana didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang reversible (dapat berkebalikan). Yang dimaksud

dengan reaksi elektrokimia reversibel adalah didalam baterai dapat berlangsung proses perubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan) dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia (proses pengisian) dengan cara proses regenerasi dari elektroda-elektroda yang dipakai yaitu, dengan melewati arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan didalam sel (Chamma Bukry, 2015). Baterai menghasilkan listrik melalui proses kimia. Banyak tipe dan klasifikasi baterai yang diproduksi saat ini, yang masing-masing memiliki desain yang spesifik dan karakteristik performa berbeda sesuai dengan aplikasi khusus yang dikehendaki. Terdapat 2 jenis baterai berdasarkan pada proses yang terjadi yaitu :

1. *Primary battery*

Baterai yang hanya dapat digunakan sekali saja dan dibuang. Material elektrodanya tidak dapat berkebalikan arah ketika dilepaskan.

2. *Secondary battery*

Baterai yang dapat digunakan dan diisi ulang beberapa kali, proses kimia yang terjadi di dalam baterai ada reversibel, dan bahan aktif dapat kembali ke kondisi semula dengan pengisian sel. Baterai sekunder sendiri terdapat banyak jenisnya di pasaran, antara lain :

a. Baterai ion litium (Li-ion atau LIB)

Di dalam baterai ini, ion litium bergerak dari elektroda negatif ke elektroda positif saat dilepaskan, dan kembali saat diisi ulang. Baterai Li-ion memakai senyawa litium interkalasi sebagai bahan elektrodanya, berbeda dengan litium metalik yang dipakai di baterai litium non-isi

ulang. Baterai ion litium umumnya dijumpai pada barang-barang elektronik konsumen. Baterai ini merupakan jenis baterai isi ulang yang paling populer untuk peralatan elektronik portabel, karena memiliki salah satu kepadatan energi terbaik, tanpa efek memori, dan mengalami kehilangan isi yang lambat saat tidak digunakan. Selain digunakan pada peralatan elektronik konsumen, LIB juga sering digunakan oleh industri militer, kendaraan listrik, dan dirgantara. Sejumlah penelitian berusaha memperbaiki teknologi LIB tradisional, berfokus pada kepadatan energi, daya tahan, biaya, dan keselamatan intrinsik.

b. Baterai Lithium Polymer (Li-Po)

Hampir sama dengan baterai Li-Ion akan tetapi baterai Li-Po tidak menggunakan cairan sebagai elektrolit melainkan menggunakan elektrolit polimer kering yang berbentuk seperti lapisan plastik film tipis. Lapisan film ini disusun berlapis-lapis diantara anoda dan katoda yang mengakibatkan pertukaran ion. Dengan metode ini baterai Li-Po dapat dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran. Diluar dari kelebihan struktur baterai Li-Po, terdapat juga kekurangan yaitu lemahnya aliran pertukaran ion yang terjadi melalui elektrolit polimer kering. Hal ini menyebabkan penurunan pada *charging* dan *discharging rate*. Masalah ini sebenarnya bisa diatasi dengan memanaskan baterai sehingga menyebabkan pertukaran ion menjadi lebih cepat, namun metode ini dianggap tidak dapat untuk diaplikasikan pada keadaan sehari-hari.

Seandainya para ilmuwan dapat memecahkan masalah ini maka risiko keamanan pada baterai jenis lithium akan sangat berkurang.

c. Baterai *Lead Acid* (Accu)

Baterai Lead Acid atau biasa disebut aki merupakan salah satu jenis baterai yang menggunakan asam timbal (lead acid) sebagai bahan kimianya. Secara umum terdapat dua jenis baterai lead-acid, yaitu *Starting Battery* dan *Deep Cycle Battery*.

d. Baterai Nickel-Metal *Hydride* (Ni-MH)

Baterai jenis ini dibuat dengan komponen yang lebih terjangkau dan ramah lingkungan. Baterai Ni-MH menggunakan ion hidrogen untuk menyimpan energi, tidak seperti baterai lithium ion yang menggunakan ion lithium. Baterai Ni-MH terdiri dari campuran nikel dan logam lain seperti titanium. Baterai ini biasanya mengandung pula komponen logam lain seperti mangan, aluminium, kobalt, zirconium, dan vanadium. Logam-logam tersebut pada umumnya berfungsi sebagai penangkap ion hidrogen yang dilepaskan untuk memastikan tidak mencapai fase gas.

Pada sistem solar *cell* baterai merupakan salah satu komponen penting memiliki fungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dalam bentuk energi arus searah (DC). Energi yang disimpan pada baterai berfungsi sebagai cadangan (*back up*), yang biasanya dipergunakan pada saat panel surya tidak menghasilkan energi listrik, contohnya pada saat malam hari atau pada saat cuaca mendung, selain itu tegangan keluaran ke

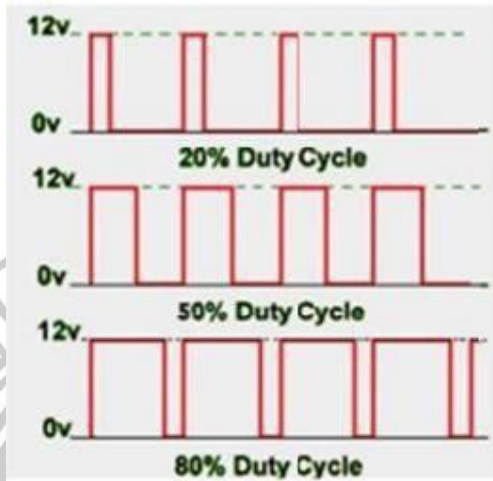
sistem cenderung lebih stabil. Satuan kapasitas energi yang disimpan pada baterai adalah *Ampere Hour* (Ah), yang diartikan arus maksimum yang dapat dikeluarkan oleh baterai selama satu jam. Namun dalam proses pengosongan (*discharger*), baterai tidak boleh dikosongkan hingga titik maksimumnya, hal ini dikarenakan agar baterai dapat bertahan lebih lama usia pakainya (*life time*), atau minimal tidak mengurangi usia pakai yang ditentukan dari pabrikan. Batas pengosongan dari baterai sering disebut dengan istilah *Depth of Discharge* (DOD).

Para peneliti dan pemerintah saat ini termotivasi dengan isu-isu penghematan energi, pengurangan emisi karbon dan peningkatan efisiensi penyimpanan energi. Pemanfaatan baterai sekunder dapat menjadi salah satu solusi yang potensial untuk isu-isu tersebut (J. Shim & K.A. Striebel, 2013).

2.8. PWM (*Pulse Width Modulation*)

PWM merupakan rangkaian alat elektronika untuk mengontrol arus *pull in* yang besar dan untuk menghindari disipasi daya yang berlebihan pada baterai dan generator HHO. PWM merupakan salah satu metode untuk mengatur arus dan tegangan dengan cara mengatur presentasi lebar pulsa terhadap periode dari suatu sinyal persegi dalam bentuk tegangan periodik yang diberikan ke motor sebagai sumber daya. Sinyal PWM dapat dibangun menggunakan metode digital yang bisa dipengaruhi oleh resolusi PWM itu sendiri. Penggunaan PWM dapat dibuat dengan menggunakan ICC Timer 555 atau IC LM324N. IC *Timer* merupakan salah satu IC yang memiliki dasar pengendali PWM dengan fitur pengendalian lebar pulsa 0 sampai 100 %. Tegangan pulsa dari sumber listrik

DC yang digunakan tersebut dapat diatur *duty cycle*-nya. *Duty cycle* inilah yang kemudian dijadikan sebagai sinyal PWM. (Rasiawan, 2009)



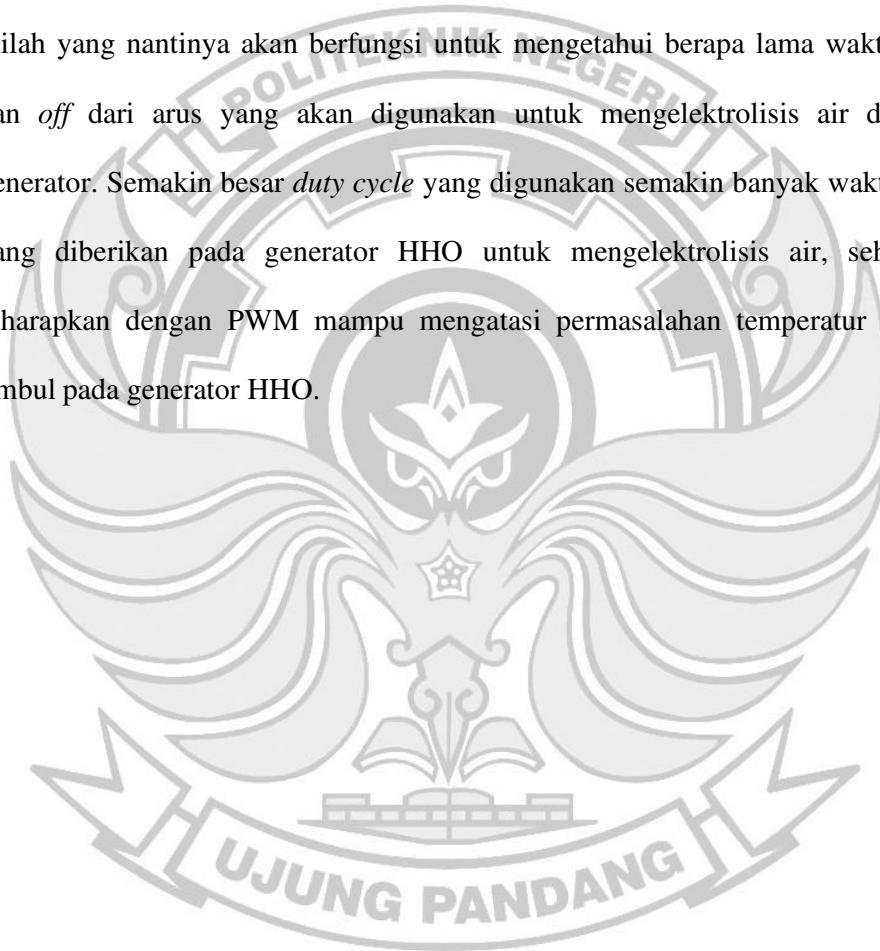
Gambar 2. 8 Penggambaran duty cycle
(Sumber : Nugroho S. Adjie, 2011)

Duty cycle adalah perbandingan lama waktu suatu signal berada dalam kondisi *high* dengan lama waktu suatu signal tersebut dalam kondisi (*high + low*), *duty cycle* sangat berguna dalam merancang alat-alat yang menggunakan konsep PWM (*Pulse Width Modulation*). Dengan cara mengatur lebar pulsa “ON” dan “OFF” dalam satu periode gelombang melalui pemberian sinyal referensi *output* dari suatu PWM akan didapat *duty cycle* yang diinginkan. (Mallove, Eugene. 1998)

Pada penggunaan PWM dibutuhkan *driver* mosfet, berfungsi sebagai komponen daya yang dikendalikan oleh tegangan dan memerlukan arus masukan kecil. Mosfet mempunyai satu rangkaian *driver* untuk mengatur pensaklaran mosfet melalui kaki *gate*. Untuk penyalaan mosfet agar menghantar,

diperlukan tegangan V_{GS} yang lebih besar atau sama dengan tegangan *threshold* (tegan minimum yang dibutuhkan mosfet untuk menghantar) dari mosfet.

Penambahan PWM ini dimaksudkan untuk mengurangi temperatur pada generator HHO, dengan PWM maka arus yang diberikan oleh aki ke generator tidak langsung kontinyu, namun diatur berupa kotak. Pulsa kotak (*duty cycle*) inilah yang nantinya akan berfungsi untuk mengetahui berapa lama waktu *on* dan *off* dari arus yang akan digunakan untuk mengelektrolisis air dalam generator. Semakin besar *duty cycle* yang digunakan semakin banyak waktu *on* yang diberikan pada generator HHO untuk mengelektrolisis air, sehingga diharapkan dengan PWM mampu mengatasi permasalahan temperatur yang timbul pada generator HHO.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar. Waktu penelitian ini berlangsung selama kurang lebih 5 bulan, dimulai pada pekan pertama bulan Maret 2023 hingga pekan terakhir bulan Juli 2023.

3.2. Alat dan Bahan

Untuk menunjang pencapaian target sesuai tujuan maka diperlukan berbagai peralatan, instrument dan bahan. Adapun alat, instrument ukur dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

3.2.1. Alat dan Instrumen

1. Generator HHO *Dry Cell Type*
2. Generator HHO *Wet Cell Type (AlcoHHO)*
3. SCC (*Solar Charge Controller*)
4. *Level Indicator Battery*
5. PWM (*Pulse Width Modulation*)
6. Baterai LiFePO4 100 Ah
7. kWh meter digital
8. *Miniature Circuit Breaker (MCB)*
9. *Fuse 10 Ampere*
10. *Reserve Tank*

11. Timbangan Digital

12. Multimeter Digital

13. Seperangkat *Tools*

3.2.2. **Bahan**

1. Air Aquades (Air Suling)

2. Seperangkat Kabel

3. Katalis (NaOH)

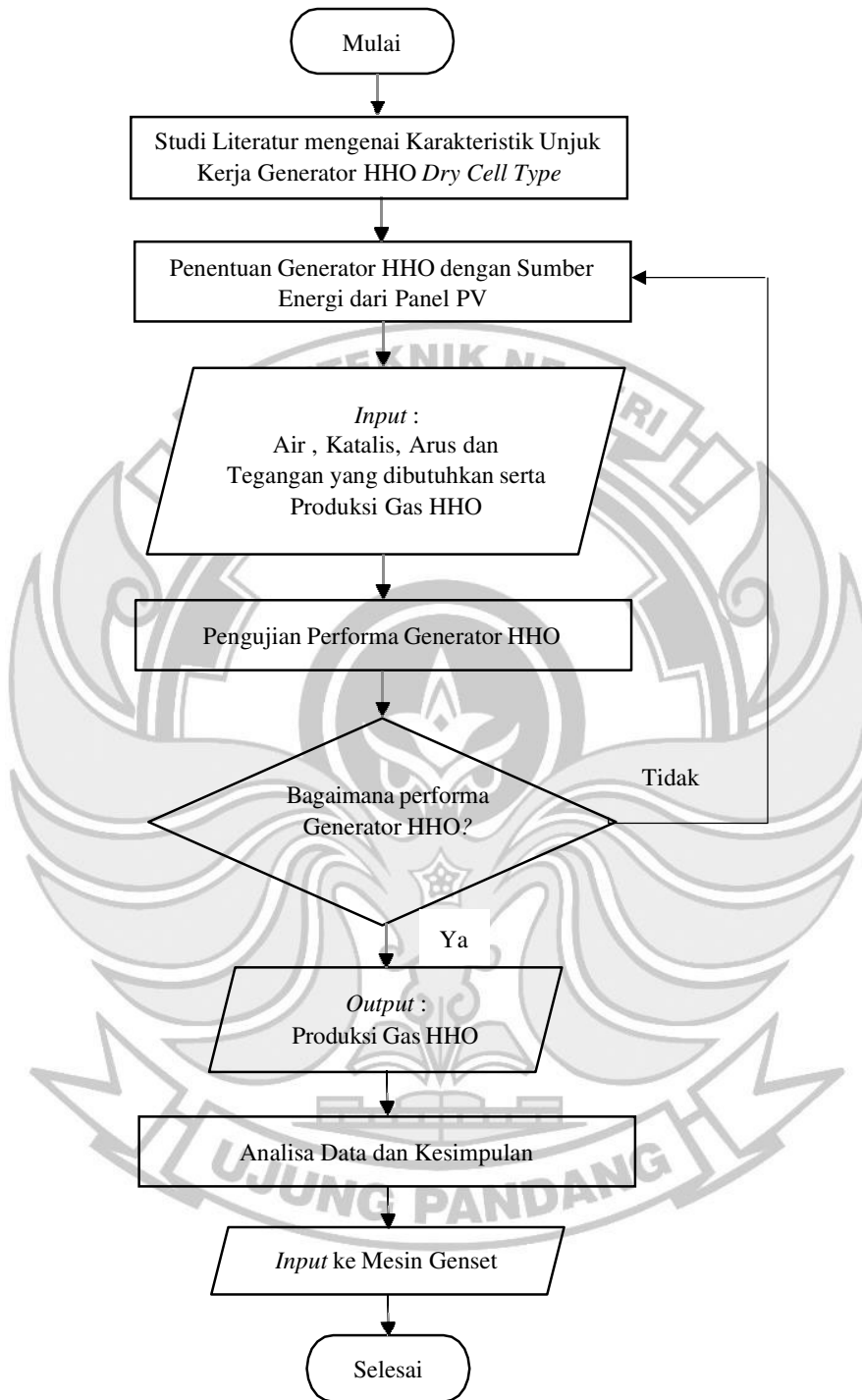
4. Selang plastik



3.3. Flowchart Penelitian

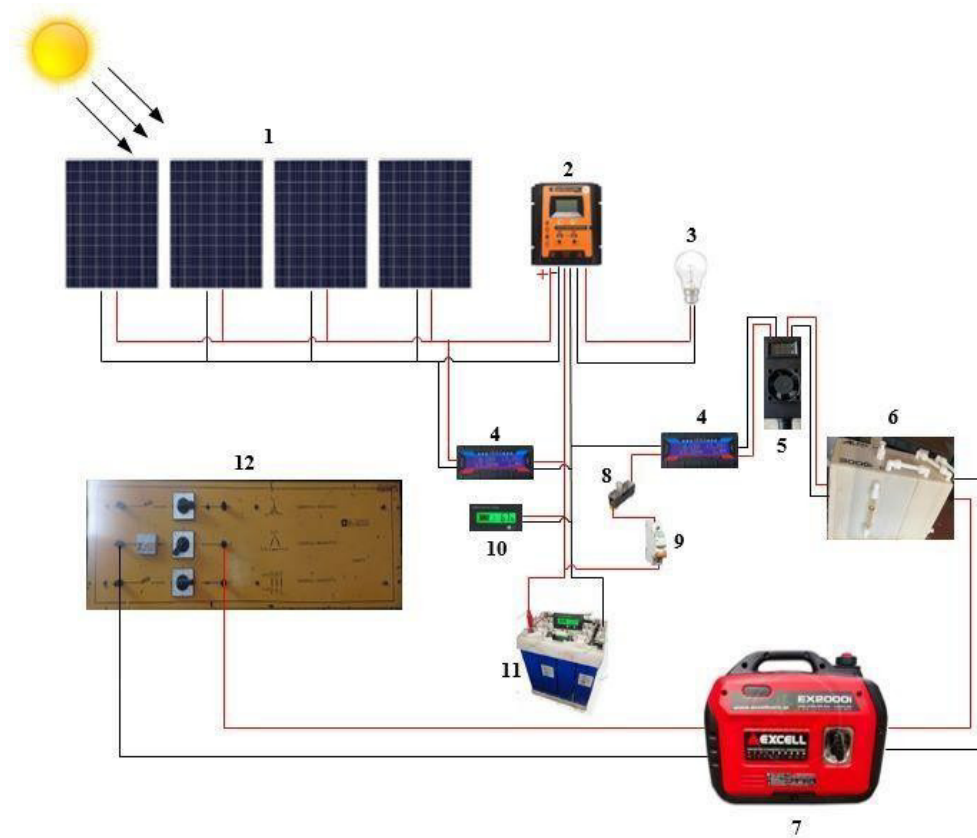
Penelitian ini menggunakan panel surya sebagai penyuplai arus listrik DC pada reaktor HHO (anoda dan katoda) dengan menggunakan PWM sebagai kontrol arus, sehingga *input* daya (tegangan dan arus) pada proses elektrolisis dapat diatur pada *range* tertentu. Produksi gas HHO yang dihasilkan digunakan sebagai substitusi bahan bakar genset untuk menghemat bahan bakar fosil dalam hal ini bahan bakar *pertalite*. Generator HHO *Dry Cell Type* dan *Wet Cell Type* merupakan elektroliser pada penelitian ini. Oleh karena itu penggunaan generator HHO pada genset harus memperhatikan beberapa hal, seperti besar daya yang dibutuhkan oleh generator HHO. Sehingga dengan pemasangan generator HHO pada genset tidak menyebabkan sistem kelistrikan dan sumber energi pada genset terganggu.

Urutan proses yang dilakukan untuk uji *experiment* performa dari generator HHO yaitu sebagai berikut :



Gambar 3. 1 *Flowchart* Penelitian

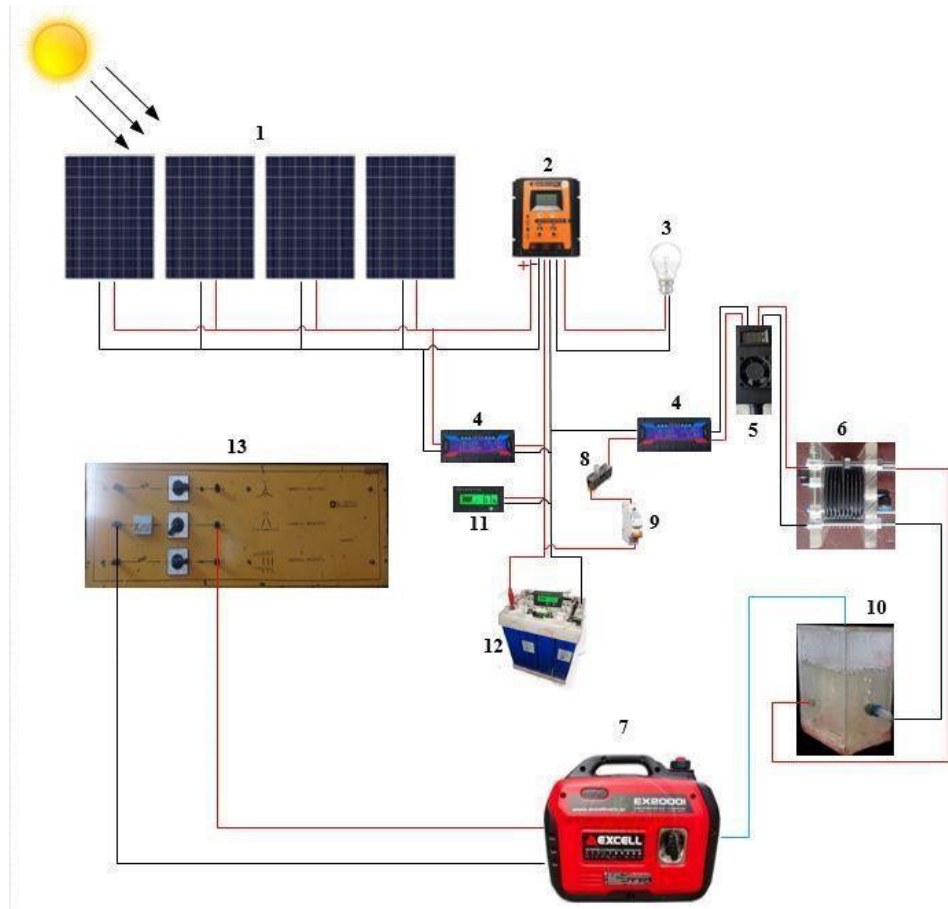
3.4 Skema Penelitian



Gambar 3. 2 Skema Rangkaian Uji *Experiment* Generator HHO Wet Cell Type

Keterangan :

- | | |
|----------------------------------|------------------------------------|
| 1. Solar PV | 7. Genset |
| 2. Solar Charge Controller (SCC) | 8. Fuse 10 A |
| 3. Lampu DC | 9. Miniature Circuit Breaker (MCB) |
| 4. kWh meter | 10. Level Indicator Baterai |
| 5. Pulse Widht Modulation (PWM) | 11. Baterai |
| 6. Generator HHO Wet Cell Type | 12. Beban |



Gambar 3. 3 Skema Rangkaian Uji *Experiment* Generator HHO Dry Cell Type

Keterangan :

6. Generator HHO Dry Cell Type

10. Reservoir Tank

3.5. Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental (*experimental research*) untuk menguji performa generator HHO tipe kering dan tipe basah menggunakan proses pemisahan unsur air pada *electrolizer* dengan sumber arus energi DC yang berasal dari sel surya melalui suatu baterai sebagai *energy*

storage. Adapun skema rancangan uji *experiment* penelitian ini seperti terlihat pada gambar skema 3.2. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan molaritas larutan elektrolit dan arus *Input*. Adapun langkah-langkah pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut :

3.5.1. Tahap Perancangan

Tahap perancangan merupakan proses menentukan dan membuat pola rancangan pada sistem yang merupakan langkah awal sekaligus memberikan gambaran umum dari sistem sebelum digunakan agar dapat beroperasi dengan optimal. Adapun kegiatan yang dilakukan pada tahap ini adalah sebagai berikut :

- Mempersiapkan dan menentukan generator HHO tipe kering dan tipe basah yang akan digunakan sesuai kebutuhan genset. Berikut deskripsi generator HHO yang digunakan pada penelitian ini adalah :

Generator HHO Tipe Basah

Generator HHO *Wet Cell Type* yang digunakan adalah jenis Alco HHO Generator 3000 *Compact*. Deskripsi dari Alco HHO Generator dapat dilihat pada gambar 3.4 berikut.



Gambar 3. 4 Dimensi Penghemat BBM Alco HHO Generator 3000
Compact

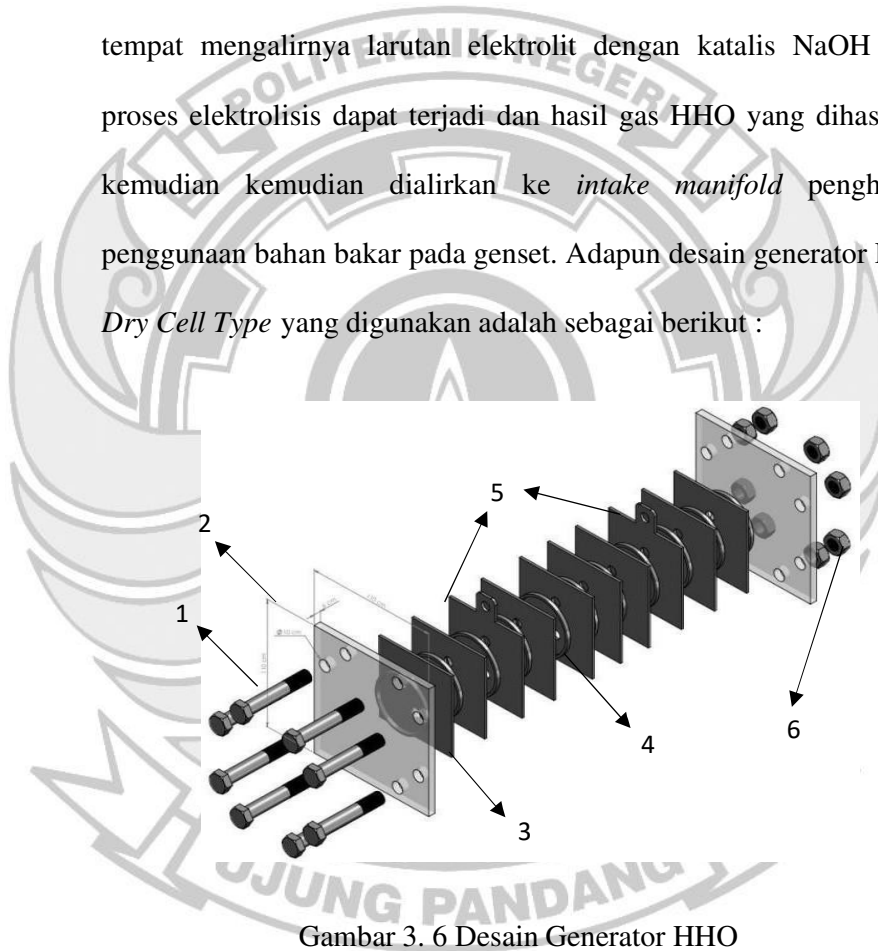
Alco HHO Generator ini sudah dilengkapi dengan PWM sehingga dapat langsung mengontrol arus *pull in* yang besar untuk menghindari disipasi daya yang berlebihan pada baterai. Berikut *wiring diagram* dari generator Alco HHO.



Gambar 3. 5 Alco HHO *Wiring Diagram*

Generator HHO Tipe Kering

Generator HHO *Dry Cell Type* yang digunakan memiliki *properties* yakni elektroda yang terbuat dari material *stainless steel grade 316 L* yang tahan terhadap korosi dan memiliki konduktivitas listrik yang baik dan berbentuk elektroda plat. Pada plat terdiri 2 lubang sebagai tempat mengalirnya larutan elektrolit dengan katalis NaOH agar proses elektrolisis dapat terjadi dan hasil gas HHO yang dihasilkan kemudian dialirkan ke *intake manifold* penghemat penggunaan bahan bakar pada genset. Adapun desain generator HHO *Dry Cell Type* yang digunakan adalah sebagai berikut :

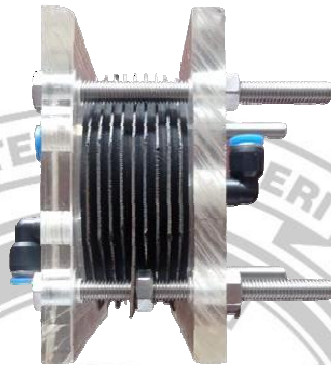


Gambar 3. 6 Desain Generator HHO

Keterangan gambar :

1. Baut
2. *Casing* (110 mm × 110 mm)
3. Plat netral (80 mm × 80 mm)

4. O-Ring
5. Plat anoda dan katoda (130 mm × 130 mm)
6. Mur



Gambar 3. 7 Generator HHO *Wet Cell Type* yang digunakan

- Merencanakan dan menghitung kebutuhan energi listrik yang dibutuhkan untuk pengoperasian generator HHO. Dimana energi listrik tersebut dihasilkan dari baterai yang bersumber dari panel PV yang telah dirancang sebelumnya.

3.5.2. Tahap Perakitan

Tahap perakitan ini merupakan proses penyatuan atau penggabungan beberapa komponen menjadi suatu sistem dengan mekanisme kerja sesuai dengan apa yang dirancang sebelumnya. Kegiatan yang dilakukan pada tahap ini adalah sebagai berikut :

- Menghubungkan generator HHO dengan *reservoir tank* dengan menambahkan pipa satu arah (*check valve*) agar air yang telah terelektrolisis tidak kembali lagi ke generator HHO.

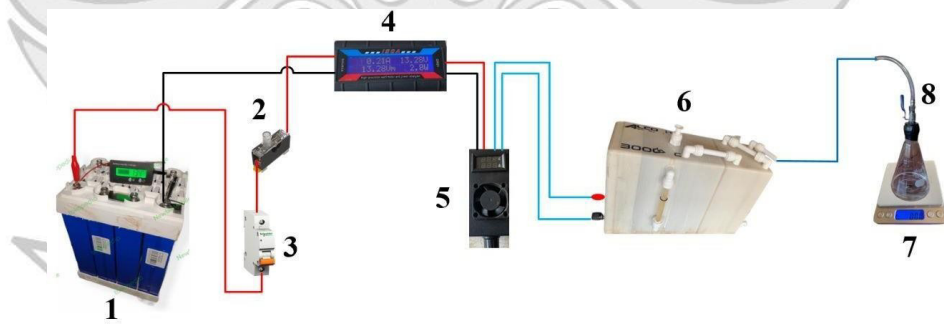
- Merakit sistem kelistrikan mulai dari sumber energi primer yang digunakan yaitu panel PV sampai ke generator HHO seperti terlihat pada gambar skema 3.2.

3.5.3. Tahap Pengujian dan Pengambilan Data

Setelah melakukan perencanaan dan perakitan, selanjutnya dilakukan tahap pengujian pengambilan data. Pengujian dan pengambilan data ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja generator HHO.

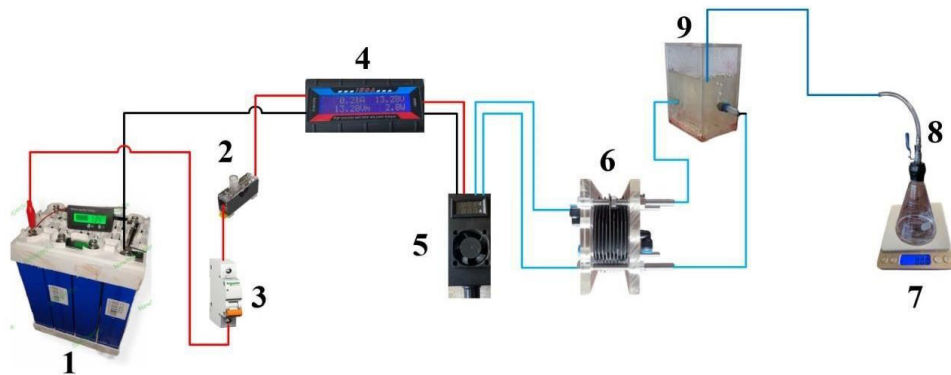
Pengujian generator HHO dilakukan dengan memvariasikan kuat arus, konsentrasi molaritas larutan elektrolisis dan besar energi listrik yang digunakan. Untuk pengambilan data dilakukan dengan dua kondisi yaitu :

- **Kondisi 1** : pengujian performa generator HHO *Wet Cell Type* dengan variasi konsentrasi massa NaOH pada larutan elektrolit dan arus *Input*.



Gambar 3. 8 Rangkaian Pengujian Performa Generator HHO Tipe *Wet Cell*

- **Kondisi 2** : pengujian performa generator HHO *Dry Cell Type* dengan variasi konsentrasi massa NaOH pada larutan elektrolisis dan arus *Input*.



Gambar 3. 9 Rangkaian Pengujian Performa Generator HHO Tipe *Dry Cell*

Adapun langkah-langkah yang dilakukan pada tahap pengujian dan pengambilan data antara lain :

Pengujian Generator HHO *Wet Cell Type*

1. Menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan dalam penelitian.
2. Melarutkan katalis NaOH dengan konsentrasi massa 50 gr, 60 gr, 70 gr, 80 gr, 90 gr, 100 gr, dan 120 gr ke dalam 1300 mL air aquades. Konsentrasi massa katalis dapat diwujudkan dalam bentuk presentase yang ditampilkan pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3. 1 Presentase konsentrasi massa NaOH pada Generator HHO

Wet Cell Type

Massa NaOH (gr)	Air aquades (mL)	Presentase Konsentrasi NaOH (%)
50	1300	3,9
60	1300	4,6
70	1300	5,4
80	1300	6,2
90	1300	7
100	1300	7,7
120	1300	9,2

3. Memasukkan air keran ke dalam tabung *water reserve* AlcoHHO *compact* 3000 sebanyak 480 mL.
4. Menginstal semua peralatan sesuai dengan gambar 3.7.
5. Menimbang massa tempat penampungan gas HHO yang kedap udara dan telah dilengkapi katup untuk membuka dan menutup gelas ukur (gambar 3.7 nomor 8) agar gas HHO yang telah dihasilkan tidak terlepas ke udara. Massa ini sebagai massa awal sebelum terisi dengan gas HHO.
6. Meng-*on*-kan MCB (gambar 3.7 nomor 3) untuk mengoperasikan generator HHO.
7. Mengatur arus yang mengalir ke generator HHO menggunakan PWM mulai dari 3 A sampai dengan 7 A dengan kenaikan 0,5. Pada tahap ini juga dilakukan pencatatan tegangan, energi (Wh dan Ah) dengan menggunakan kWh meter *digital* (gambar 3.7 nomor 4).

8. Setelah generator dibiarkan beroperasi selama waktu tertentu kemudian di-off-kan. Gas HHO yang telah diproduksi pada tempat penampungan gas HHO kemudian ditimbang kembali menggunakan timbangan dengan tingkat akurasi 0,01 gr untuk memperoleh nilai laju produksi gas HHO (*mass flowrate HHO*).
9. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali pengujian per variasi arus dalam setiap 3 menit.

Pengujian Generator HHO Dry Cell Type

1. Menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan dalam penelitian.
2. Melarutkan katalis NaOH dengan konsentrasi massa 35 gr, 40 gr, 45 gr, dan 50 gr ke dalam 650 mL ke dalam *reservoir tank* dan sambungkan ke generator HHO dengan selang. Konsentrasi massa katalis dapat diwujudkan dalam bentuk presentase yang ditampilkan pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3. 2 Presentase konsentrasi massa NaOH pada Generator HHO *Dry Cell Type*

Massa NaOH (gr)	Air aquades (mL)	Presentase Konsentrasi NaOH (%)
35	650	5,4
40	650	6,2
45	650	7
50	650	7,7

3. Menginstal semua peralatan sesuai dengan gambar 3.8.
4. Menimbang massa tempat penampungan gas HHO yang kedap udara dan telah dilengkapi katup untuk membuka dan menutup gelas ukur

(gambar 3.8 nomor 8) agar gas HHO yang telah dihasilkan tidak terlepas ke udara. Massa ini sebagai massa awal sebelum terisi dengan gas HHO.

5. Meng-*on*-kan MCB (gambar 3.8 nomor 3) untuk mengoperasikan generator HHO.
6. Mengatur arus yang mengalir ke generator HHO menggunakan PWM mulai dari 4 A, 5 A, 6 A, sampai 7 A menggunakan PWM. Pada tahap ini juga dilakukan pencatatan tegangan, energi (Wh dan Ah) dengan menggunakan kWh meter *digital* (gambar 3.8 nomor 4).
7. Setelah generator dibiarkan beroperasi selama waktu tertentu kemudian di-*off*-kan. Gas HHO yang telah diproduksi pada tempat penampungan gas HHO kemudian ditimbang kembali menggunakan timbangan dengan tingkat akurasi 0,01 gr untuk memperoleh nilai laju produksi gas HHO (*mass flowrate HHO*).
8. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali pengujian per variasi arus dalam setiap 3 menit.

3.6. Parameter yang Diukur

Setelah dilakukan pengambilan data pada proses pengujian pada generator HHO, maka terdapat beberapa parameter yang perlu dicatat yaitu sebagai berikut :

- Rasio volume air dan katalis
- Besar tegangan dan arus *Input* ke generator HHO
- Daya *Input* ke generator HHO

- Jumlah energi yang masuk ke generator HHO
- *Mass Flowrate* produksi gas HHO

3.7. Teknik Analisis Data

3.7.1. Teknik Analisis Data Pengujian Performa Generator HHO

Pengujian generator HHO ini bertujuan untuk menganalisis besar nilai dari performa generator HHO. Adapun data pengujian performa generator HHO antara lain :

- Arus (I)
- Tegangan (V)
- Waktu produksi gas HHO (t)
- Volume gas HHO terukur (Volum)

Data tersebut kemudian dianalisis untuk memperoleh parameter-parameter unjuk kerja generator HHO. Adapun unjuk kerja generator HHO adalah sebagai berikut :

- Daya yang Dibutuhkan Generator HHO dapat dihitung menggunakan persamaan (2-1) yaitu :

$$P_{HHO} = V_{HHO} \times I_{HHO}$$

Keterangan :

P_{HHO} : Daya listrik generator HHO (W)

V_{HHO} : Tegangan listrik generator HHO (V)

I_{HHO} : Arus listrik generator HHO (A)

- Fraksi Massa dapat dihitung menggunakan persamaan (2-2) yaitu :

$$\text{fraksi Massa} = \frac{\text{Massa Katalis}}{(\text{Massa Air} + \text{Massa Katalis})} \times 100\%$$

- Laju Produksi/*Flowrate* massa gas HHO (\dot{m}_{HHO}) dapat dihitung dengan persamaan :

$$\dot{m}_{HHO} = \frac{m}{t}$$

Keterangan :

\dot{m}_{HHO} : *Mass Flowrate* Gas HHO (gr/s)

m : Massa gas HHO (gr)

t : Waktu produksi gas HHO (s)

- Efisiensi Generator HHO (η_{HHO}) dapat dihitung menggunakan persamaan (2-12) yaitu :

$$\eta_{HHO} = \frac{Q_{HHO} \times \rho_{HHO} \times LHV_{HHO}}{P_{HHO}}$$

Keterangan :

LHV = 119930 J/g

3.7.2. Teknik Analisa Data Jumlah Produksi Minimum Gas HHO terhadap Nilai Optimal Efisiensi Genset

- **Nilai Volume Rate Bahan Bakar Bensin**

Nilai volume *rate* bahan bakar bensin yang dikonsumsi mesin genset dapat dihitung menggunakan persamaan (2-13) yaitu :

$$\dot{V}_{bb} = \frac{V}{t}$$

Keterangan :

$V_{b \dot{b}}$: Volume *rate* bahan bakar (L/s)

L : Volume tanki bahan bakar (L)

t : Waktu konsumsi bahan bakar (s)

- **Daya Input Genset**

Daya *Input* genset dapat dihitung menggunakan persamaan (2-14)

yaitu :

$$P_{in} = V_{b \dot{b}} \times HHV$$

Keterangan :

P_{in} : Daya *Input* genset (kW)

HHV (*Higher Heating Value*) Pertalite : 34,381 kJ/L

$V_{b \dot{b}}$: Volume *rate* bahan bakar (L/s)

- **Daya Output Generator Set**

Daya *output* genset dapat dihitung menggunakan persamaan (2-15)

yaitu :

$$P_{out} = \frac{V \times I \times \cos \varphi}{1000}$$

Keterangan :

P_{out} : Daya *output* genset (kW)

V : Tegangan (V)

I : Arus (A)

$\cos \varphi$: Beban Resistif = 1

- **Daya Efektif *Engine***

Daya efektif *Engine* dapat dihitung menggunakan persamaan (2-16)

yaitu :

$$P_e = \frac{V \times I}{0,85 \times 1000}$$

Keterangan :

P_e : Daya efektif (kW)

Asumsi efisiensi generator : 85 % = 0,85

- **SFC (*Specific Fuel Consumption*)**

Specific Fuel Consumption (SFC) dapat dihitung menggunakan persamaan (2-17) yaitu :

$$SFC = \frac{V_b \cdot \rho_{bb} \times 3600}{P_e}$$

Keterangan :

SFC : *Specific fuel consumption* (kg/kWh)

P_{bb} : Massa jenis bahan baka *pertalite* 0,77 kg/L

P_e : Daya Spesifik (kW)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian untuk beberapa variabel parameter yang berpengaruh terhadap produksi gas HHO ditampilkan dalam bentuk tabel pada Lampiran 1. Pengujian ini memanfaatkan panel PV sebagai penyuplai arus listrik DC pada generator HHO untuk proses elektrolisis. Ada dua jenis generator HHO yang diuji pada penelitian ini yaitu *Dry Cell Type* dan *wet cell type*. Untuk data pengujian generator HHO *Wet Cell Type* ditampilkan dalam bentuk tabel pada Lampiran 1A dan generator HHO *Dry Cell Type* ditampilkan dalam bentuk tabel pada Lampiran 1B.

Gas HHO yang dihasilkan kemudian diaplikasikan pada genset *Silent Inverter 2000 Watt 2,5 kVa Exell EX3000i* sebagai penghemat bahan bakar. Pengujian kinerja genset ini dilakukan pada dua kondisi pengujian yaitu uji performa genset tanpa penambahan gas HHO atau dalam kondisi standar dan uji performa genset dengan penambahan gas HHO. Untuk data pengujian performa genset tanpa penambahan gas HHO ditampilkan dalam bentuk tabel pada Lampiran 1C dan data pengujian performa genset dengan penambahan gas HHO ditampilkan dalam bentuk tabel pada Lampiran 1D.

4.2. Perhitungan Data Hasil Pengujian

Perhitungan data dari pengujian yang telah dilakukan bertujuan untuk mengetahui besar nilai dari performa generator HHO tipe kering maupun tipe

basah yang divariasikan arus dan variasi konsentrasi massa katalis Natrium Hidroksida (NaOH) pada larutan elektrolit. Dari perhitungan performa generator HHO diperoleh nilai laju produksi dan efisiensi optimum dari beberapa pengujian performa generator HHO yang memiliki variasi kandungan massa NaOH yang berbeda pada setiap larutan elektrolit. Hasil gas HHO tersebut diimplementasikan pada Genset *Silent Inverter* 2000 Watt 2,5 kVa *Exell EX3000i* untuk penghematan penggunaan bahan bakar bensin.

4.2.1. Perhitungan Unjuk Kerja Generator HHO

Berikut adalah contoh perhitungan dari salah satu data sampel pengujian yang diperoleh berdasarkan tabel pada Lampiran 1A nomor 9 dari performa generator HHO tipe *wet cell* (Alco HHO) dengan konsentrasi NaOH 7,7 % dengan arus 7A sebagai berikut.

- Tegangan Generator HHO (V_{HHO}) = 11,83 V
- Arus Generator HHO (I_{HHO}) = 7 A
- Waktu Produksi gas HHO = 3 menit = 1800 s
- Massa Produksi gas HHO (m_{HHO}) = 1,01 gr
- Energi *Input* (Wh) = 5,83 Wh

Properties gas HHO :

- Massa jenis gas HHO (ρ_{HHO}) = 0,491167 gr/L
- LHV gas HHO = 119930 J/g

a. Perhitungan Daya Generator HHO

Besarnya daya yang digunakan oleh generator HHO untuk proses elektrolisis air, dihitung dengan persamaan (2-1), sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P_{HHO} &= V_{HHO} \times I_{HHO} \\ &= 11,83 \text{ V} \times 7 \text{ A} \\ &= 82,83 \text{ W} \end{aligned}$$

Nilai P_{HHO} merupakan kebutuhan daya listrik yang dibutuhkan untuk memproduksi gas HHO senilai 82,83 Watt pada presentase NaOH 7,7 % dengan arus 7 A. Untuk data selanjutnya dihitung dengan cara yang sama dan ditampilkan dalam bentuk Tabel pada Lampiran 2A.

b. Perhitungan *Mass Flowrate* Produksi Gas HHO

Besarnya nilai laju produksi (*mass flowrate*) gas HHO dapat dihitung dengan persamaan (2-3). Metode pengambilan data yang dilakukan pada saat pengujian adalah dengan cara menimbang langsung massa gas HHO dengan timbangan digital per 3 menit. Gas HHO hasil produksi ditempatkan pada suatu tabung yang kedap udara menggunakan timbangan digital yang mempunyai tingkat akurasi 0,01 gr. Sehingga besar nilai dari *mass flowrate* gas HHO adalah :

$$\begin{aligned} m'_{HHO} &= \frac{m}{t} \\ &= \frac{1,01 \text{ gr}}{180 \text{ s}} \\ &= 0,00558 \text{ gr/s} \end{aligned}$$

Untuk hasil perhitungan laju produksi gas HHO secara lengkap ditampilkan dalam bentuk tabel di LAMPIRAN 2A.

c. Perhitungan Efisiensi Generator HHO

Efisiensi generator gas HHO (η_{HHO}) dihitung dengan persamaan (2-13), sebagai berikut :

$$\eta_{HHO} = \frac{\text{Energi yang dihasilkan generator HHO (output)}}{\text{Energi yang dibutuhkan generator HHO (input)}} \times 100\%$$

$$\eta_{HHO} = \frac{m \times LHV_{HHO} \times \frac{1}{9}}{Wh} \times 100\%$$

$$= \frac{1,01 \text{ gr} \times 119930 \frac{J}{gr} \times \frac{1}{9}}{5,83 \frac{J}{s} \times 3600 \text{ s}} \times 100\%$$

$$= 63,78\%$$

Nilai efisiensi generator HHO yang dihasilkan sebesar 63,78 % dari unjuk kerja generator gas HHO. Hasil perhitungan unjuk kerja generator HHO ditampilkan dalam bentuk tabel pada LAMPIRAN 2A.

Perhitungan data diatas merupakan perhitungan data hasil pengujian generator HHO tipe basah. Untuk hasil perhitungan data generator HHO tipe kering menggunakan persamaan yang sama dengan perhitungan data generator HHO tipe basah. Untuk itu hasil perhitungan unjuk kerja generator HHO tipe kering secara lengkap ditampilkan dalam bentuk tabel pada Lampiran 2B.

4.2.2. Perhitungan Jumlah Produksi Minimum Gas HHO terhadap Nilai Optimal Specific Fuel Consumption (SFC) Genset

Pada sub bab ini berisi perhitungan dari data pengujian performa genset *Silent Inverter 2000 Watt 2,5 kVa Exell EX3000i* berupa nilai konsumsi bahan bakar *pertalite* dengan penambahan gas HHO yang telah dilakukan. Data perhitungan diambil pada pengujian performa genset standar atau tanpa penambahan gas HHO dan pengujian performa implementasi gas HHO pada genset. Generator HHO yang dipakai adalah jenis *dry cell* dengan kandungan presentase konsentrasi NaOH 7,7 %. Berikut adalah data pengujian performa berupa nilai konsumsi bahan bakar pada genset *Silent Inverter 2000 Watt 2,5 kVa Exell EX3000i*.

- **Kondisi tanpa penambahan gas HHO pada beban 50**

Data Pengujian :

Tegangan (V) = 204 V

Arus (I) = 6,9 A

Waktu Pemakaian genset = 4273 s

Volume Bahan Bakar = 2 Liter

HHV *Pertalite* = 34,381 kJ/L

Massa Jenis *Pertalite* ($\rho_{\text{pertalite}}$) = 0,77 kg/L

a. Nilai Volume Rate Bahan Bakar

Besarnya nilai volume *rate* bahan bakar dapat dihitung menggunakan persamaan (2-14) yaitu :

$$\begin{aligned}
 V_{bb} &= \frac{l}{t} \\
 &= \frac{2 L}{4273 s} \\
 &= 0,00047 \frac{L}{s}
 \end{aligned}$$

Nilai volume *rate* bahan bakar yang dihasilkan sebesar 0,00047 L/s pada kondisi pengujian standar atau tanpa penambahan gas HHO.

b. Daya *Input* Genset

Nilai daya *Input* genset dapat dihitung menggunakan persamaan (2-15) yaitu :

$$\begin{aligned}
 P_{in} &= V_{bb} \times HHV \\
 &= 0,00047 \frac{L}{s} \times 34,381 \frac{kJ}{L} \\
 &= 16,092 kW
 \end{aligned}$$

Nilai Daya *Input* genset yang dihasilkan sebesar 16,092 kW pada kondisi pengujian standar atau tanpa penambahan gas HHO.

c. Daya *Output* Genset

Nilai daya *output* genset dapat dihitung menggunakan persamaan (2-16) yaitu :

$$\begin{aligned}
 P_{out} &= \frac{V \times I \times \cos \varphi}{1000} \\
 &= \frac{204 V \times 6,9 A \times 1}{1000} \\
 &= 1,4076 kW
 \end{aligned}$$

Nilai Daya *output* genset yang dihasilkan sebesar 1,4076 kW pada kondisi pengujian standar atau tanpa penambahan gas HHO.

d. Daya Efektif

Nilai daya efektif genset dapat dihitung menggunakan persamaan (2-17) yaitu :

$$\begin{aligned}
 P_e &= \frac{V \times I}{0,85 \times 1000} \\
 &= \frac{204 V \times 6,9 A}{0,85 \times 1000} \\
 &= 1,656 kW
 \end{aligned}$$

Nilai Daya efektif genset yang dihasilkan sebesar 1,656 kW pada kondisi pengujian standar atau tanpa penambahan gas HHO.

e. SFC (*Specific Fuel Consumption*)

Specific Fuel Consumption (SFC) dapat dihitung menggunakan persamaan (2-18) yaitu :

$$\begin{aligned}
 SFC &= \frac{V_b \cdot \rho_{bb} \times 3600}{P_e \times t} \\
 &= \frac{0,00047 \frac{L}{s} \times 0,77 \frac{kg}{L} \times 3600}{1,656 kW} \\
 &= 0,783 \frac{L}{kWh}
 \end{aligned}$$

Nilai konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) yang dihasilkan sebesar 0,783 L/kWh pada kondisi pengujian standar atau tanpa penambahan gas HHO.

- **Dengan Penambahan gas HHO pada Beban 50**

Data perhitungan ini diambil pada pengujian performa implementasi gas HHO pada genset dengan arus 4 A. Berikut data hasil pengujian yang diperoleh.

Tegangan (V) = 207 V

Arus (I) = 6,9 A

Waktu Pemakaian genset = 5286 s

Volume Bahan Bakar = 2 Liter

HHV *Pertalite* = 34,381 kJ/L

Massa Jenis *Pertalite* ($\rho_{\text{pertalite}}$) = 0,77 kg/L

a. Nilai Volume Rate Bahan Bakar

Besarnya nilai volume *rate* bahan bakar dapat dihitung menggunakan persamaan (2-14) yaitu :

$$\begin{aligned} \dot{V}_{bb} &= \frac{l}{t} \\ &= \frac{2 \text{ L}}{5286 \text{ s}} \\ &= 0,00038 \frac{\text{L}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Nilai volume *rate* bahan bakar yang dihasilkan sebesar 0,00038 L/s pada pengujian performa genset dengan penambahan gas HHO pada arus 4 A. Untuk hasil perhitungan nilai volume *rate* performa genset dengan penambahan gas HHO pada arus 5A – 7A ditampilkan dalam bentuk tabel pada Lampiran 2D.

b. Daya *Input* Genset

Nilai daya *Input* genset dapat dihitung menggunakan persamaan (2-15)

yaitu :

$$\begin{aligned} P_{in} &= V_b \dot{v}_b \times HHV \\ &= 0,00038 \frac{L}{s} \times 34,381 \frac{kJ}{L} \\ &= 13,008 \text{ kW} \end{aligned}$$

Nilai Daya *Input* genset yang dihasilkan sebesar 13,008 kW pada pada pengujian performa genset dengan penambahan gas HHO pada arus 4 A. Untuk hasil perhitungan nilai volume *rate* performa genset dengan penambahan gas HHO pada arus 5A – 7A ditampilkan dalam bentuk tabel pada Lampiran 2D.

c. Daya *Output* Genset

Nilai daya *output* genset dapat dihitung menggunakan persamaan (2-

16) yaitu :

$$\begin{aligned} P_{out} &= \frac{V \times I \times \cos \varphi}{1000} \\ &= \frac{207 \text{ V} \times 6,9 \text{ A} \times 1}{1000} \\ &= 1,428 \text{ kW} \end{aligned}$$

Nilai Daya *output* genset yang dihasilkan sebesar 1,428 kW pada pada pengujian performa genset dengan penambahan gas HHO pada arus 4 A. Untuk hasil perhitungan nilai volume *rate* performa genset

dengan penambahan gas HHO pada arus 5A – 7A ditampilkan dalam bentuk tabel pada Lampiran 2D.

d. Daya Efektif

Nilai daya efektif genset dapat dihitung menggunakan persamaan (2-17) yaitu :

$$\begin{aligned}
 P_e &= \frac{V \times I}{0,85 \times 1000} \\
 &= \frac{207 \text{ V} \times 6,9 \text{ A}}{0,85 \times 1000} \\
 &= 1,68 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Nilai Daya efektif genset yang dihasilkan sebesar 1,68 kW pada pada pengujian performa genset dengan penambahan gas HHO pada arus 4 A. Untuk hasil perhitungan nilai volume *rate* performa genset dengan penambahan gas HHO pada arus 5A – 7A ditampilkan dalam bentuk tabel pada Lampiran 2D.

e. SFC (*Specific Fuel Consumption*)

Specific Fuel Consumption (SFC) dapat dihitung menggunakan persamaan (2-18) yaitu :

$$\begin{aligned}
 SFC &= \frac{V_b \cdot \rho_{bb} \times 3600}{P_e \times t} \\
 &= \frac{0,00038 \frac{L}{s} \times 0,77 \frac{kg}{L} \times 3600}{1,68 \text{ kW}} \\
 &= 0,624 \frac{L}{kWh}
 \end{aligned}$$

Nilai konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) yang dihasilkan sebesar 0,624 L/kWh pada pengujian performa genset dengan penambahan gas HHO pada arus 4 A. Untuk hasil perhitungan nilai volume *rate* performa genset dengan penambahan gas HHO pada arus 5A – 7A ditampilkan dalam bentuk graik pada gambar 4.11 dan tabel pada Lampiran 2A.

4.3. Analisis dan Pembahasan Hasil Pengujian

Dengan adanya analisis maka dapat diketahui fenomena-fenomena yang terjadi terhadap hasil data pengujian. Ada dua macam analisis data yang dianalisa pada sub bab ini, pertama berupa analisis terhadap data performa generator HHO dan yang kedua analisis terhadap jumlah produksi minimum HHO yang sesuai dengan kebutuhan genset *Silent Inverter* 2000 Watt 2,5 kVa *Exell EX3000i* berupa nilai konsumsi bahan bakar bensin *pertalite*.

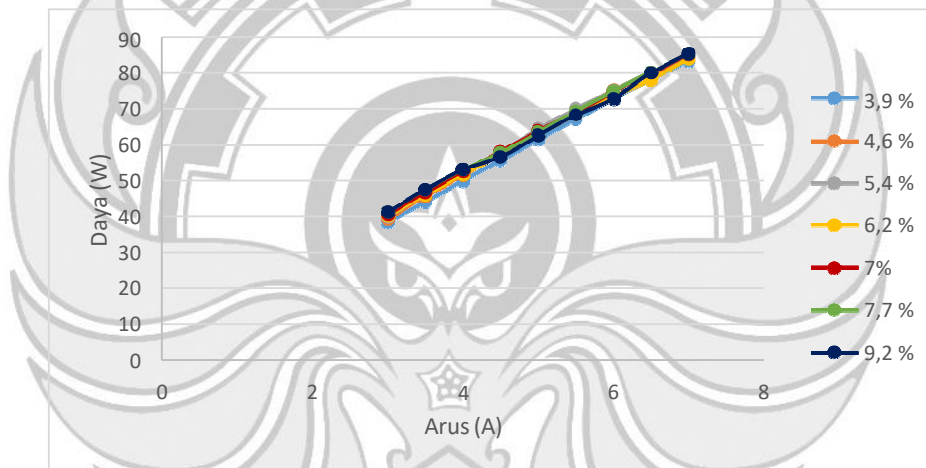
4.3.1. Performa Generator HHO

Pada sub bab ini akan ditampilkan grafik serta pembahasan dari data-data yang telah diambil dari pengujian performa generator HHO tipe basah dan tipe kering dengan menggunakan variasi presentase konsentrasi NaOH yang berbeda pada setiap larutan elektrolit hingga mencapai kondisi kerja optimum. Adapun data yang akan dianalisis adalah parameter performa generator HHO seperti daya generator HHO terhadap arus dan konsentrasi massa NaOH, laju produksi terhadap arus dan konsentrasi massa NaOH, dan efisiensi generator HHO terhadap terhadap arus dan konsentrasi massa NaOH. Berikut adalah hasil analisis dari data yang telah diambil dari

pengujian performa generator HHO dengan kandungan massa NaOH yang berbeda pada setiap larutan elektrolit yang ditampilkan dengan grafik.

4.3.1.1. Daya yang Dibutuhkan Generator HHO

Gambar berikut menunjukkan hubungan antara arus *input* generator HHO dan presentase NaOH terhadap konsumsi daya yang digunakan dalam proses elektrolisis. Dimana data yang diolah diperoleh dari hasil perhitungan generator HHO pada Lampiran 2A.

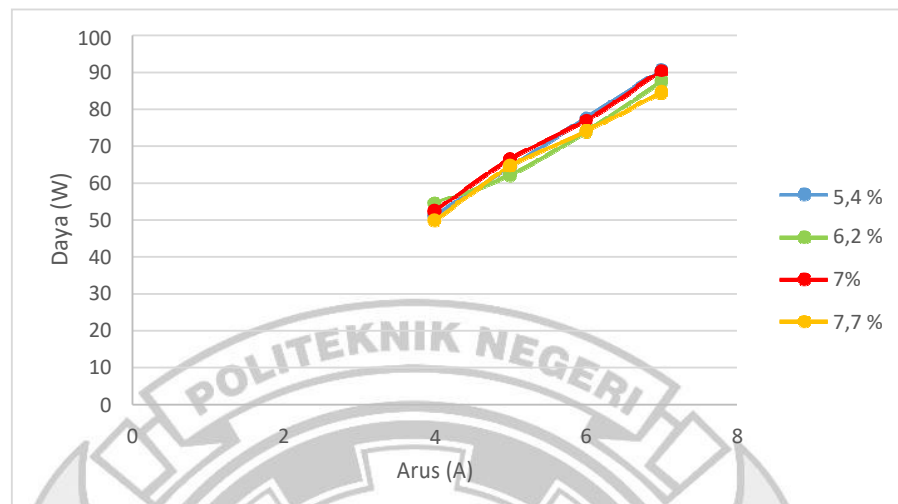


Gambar 4. 1 Grafik Hubungan Arus *Input* Generator dan Konsentrasi NaOH terhadap Daya *Input* Generator HHO *Wet Cell Type*

Pada Gambar 4.1 grafik daya *Input* generator HHO tipe *wet cell* terhadap arus *Input* generator dan konsentrasi NaOH yang diberikan memperlihatkan tren grafik yang terus naik dari variasi arus dengan presentasi konsentrasi NaOH yang berbeda pada setiap larutan elektrolit. Hal ini menunjukkan bahwa pemakaian daya generator HHO pada pengujian semakin meningkat seiring dengan bertambahnya arus yang diberikan serta bertambahnya presentase konsentrasi NaOH yang

digunakan pada larutan elektrolit. Selain itu nilai tegangan yang diperoleh selama pengujian cenderung konstan dinilai 12 V – 13 V. Sesuai dengan Hukum 1 Faraday yang berbunyi “massa zat yang dihasilkan pada suatu elektroda selama proses elektrolisis berbanding lurus dengan muatan listrik yang digunakan”. Dimana daya generator HHO tipe basah paling rendah diperoleh pada pengujian dengan presentase konsentrasi NaOH 3,9 % yaitu sebesar 38,4 W. Sedangkan daya paling tinggi yang dibutuhkan generator HHO untuk proses elektrolisis adalah pengujian dengan presentase konsentrasi NaOH 9,2 % yaitu sebesar 85,4 W.

Berdasarkan penelitian Saharuddin (2014) tentang produksi gas HHO pada generator tipe *wet cell* dengan elektroda datar (90 mm x 90 mm) yang terpasang secara horisontal dengan presentase konsentrasi KOH 1 % - 5 % menghasilkan daya berkisar 84 W – 381 W dengan arus rata-rata 7 A – 31,8 A. Kemudian menurut Prasetyo, dkk (2019) pada generator HHO tipe *wet cell* pada konsentrasi NaOH 4,76 % dengan arus 38 A diperoleh nilai daya sebesar 174,9 W. Sedangkan menurut Putri Pratiwi, dkk (2021) dalam penelitiannya tentang studi eksperimen generator HHO *wet cell* dengan elektroda *stainless steel* mengonsumsi daya 68 W – 105 W pada konsentrasi NaOH 13% dengan arus 7,5 A. Berdasarkan penelitian terdahulu dengan penelitian yang telah dilakukan terdapat perbedaan nilai daya yang dibutuhkan generator HHO untuk memproduksi gas HHO. Hal tersebut dikarenakan metode dengan spesifikasi generator HHO yang digunakan.



Gambar 4. 2 Grafik Hubungan Arus *Input* Generator HHO dan konsentrasi NaOH terhadap Daya *Input* Generator HHO *Dry Cell Type*

Sama halnya dengan generator HHO *wet cell type*, generator HHO tipe *dry cell* juga memperlihatkan tren grafik yang terus naik antara hubungan daya *Input* generator HHO tipe *dry cell* terhadap arus yang diberikan dengan tegangan yang diperoleh selama pengujian cenderung konstan dinilai 12 V – 13 V. Untuk generator HHO tipe kering daya paling rendah diperoleh pada presentase konsentrasi NaOH 7,7 % dengan arus 3A yaitu sebesar 49,87 W. Sedangkan daya paling tinggi sebesar 90,64 W pada konsentrasi NaOH 5,4 % dengan arus 7 A.

Menurut penelitian Attila Göllei (2014) tentang *Measuring and Optimisation of HHO Dry Cell for Energy Efficiency* menghasilkan daya berkisar 10,8 W – 140 W pada konsentrasi 1 – 10 % KOH. Perbedaan nilai daya yang dibutuhkan generator HHO untuk proses elektrolisis pada penelitian sebelumnya dengan penelitian yang telah dilakukan berada pada

range yang sama. Sedangkan pada penelitian Yusuf Dewantoro, dkk (2021) generator HHO *dry cell* mengonsumsi daya 360 W – 880 W pada konsentrasi KOH 5,7 % - 17,2 % dengan dengan arus *Input* sebesar 2 A – 20 A. Jika dibandingkan dengan penelitian yang telah dilakukan ini nilai daya yang diperoleh lebih kecil dibandingkan penelitian tersebut. Hal itu dikarenakan arus *Input* generator HHO lebih besar sehingga nilai daya yang dihasilkan juga lebih besar.

Kenaikan daya disebabkan oleh besarnya arus yang digunakan oleh generator HHO untuk proses elektrolisis air. Semakin besar konsentrasi NaOH dalam larutan elektrolit maka akan meningkatkan kecepatan laju reaksi proses elektrolisis pada generator HHO. Dengan semakin meningkatnya kecepatan reaksi elektrolisis pada generator HHO maka arus yang digunakan untuk proses elektrolisis pada generator HHO akan menjadi semakin besar yang berpengaruh terhadap nilai daya generator HHO. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar arus yang diberikan serta presentase konsentrasi NaOH pada larutan elektrolit akan meningkatkan kecepatan proses elektrolisis. Semakin cepatnya proses elektrolisis ini disebabkan oleh berkurangnya hambatan antara cairan elektrolit dan elektroda dengan tegangan listrik sehingga arus listrik yang digunakan untuk proses elektrolisis elektrolit akan semakin besar yang berpengaruh terhadap peningkatan nilai daya generator HHO.

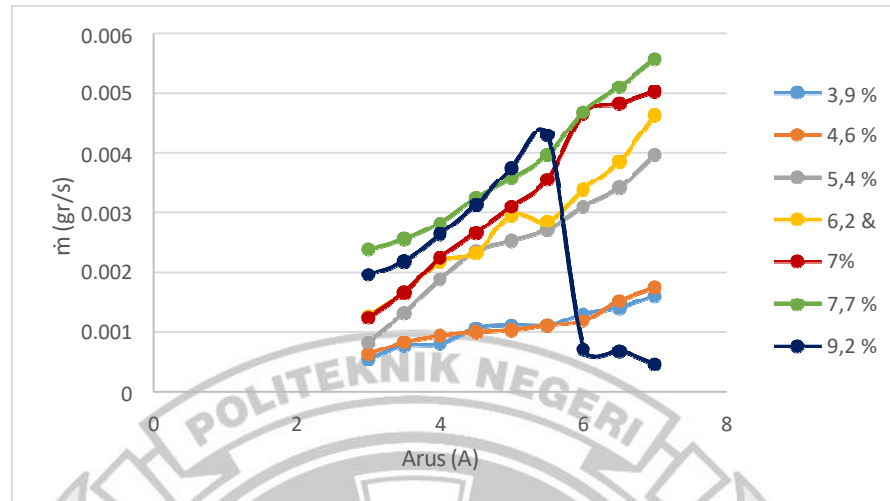


Gambar 4. 3 Perbandingan Daya *Input* Generator HHO *Dry Cell Type* dan Generator HHO *Wet Cell Type*

Berdasarkan gambar 4.3 di atas, daya generator HHO tipe *dry cell* maupun *wet cell* mempunyai tren yang hampir sama. Namun pada arus 4A generator HHO *Wet Cell Type* mengonsumsi daya lebih tinggi dibandingkan generator HHO tipe *dry cell*. Dimana daya *input* generator HHO optimum diperoleh dari generator HHO tipe *dry cell* sebesar 90,64 W. Grafik di atas diperoleh dari data hasil perhitungan performa generator HHO tipe kering dan tipe basah dengan konsentrasi NaOH 7,7%.

4.3.1.2. *Mass Flowrate* Gas HHO

Gambar berikut menunjukkan hubungan antara arus *input* generator HHO dan presentase NaOH terhadap *mass flowrate* gas HHO yang dihasilkan dalam proses elektrolisis. Dimana data yang diolah diperoleh dari hasil perhitungan generator HHO pada Lampiran 2A.



Gambar 4. 4 Grafik Hubungan Arus *Input* Generator HHO dan Konsentrasi NaOH terhadap *Mass Flowrate* dari Generator HHO *Wet Cell Type*

Gambar 4.4 memperlihatkan tren grafik yang terus naik, hal ini terjadi karena dengan bertambahnya presentase NaOH menyebabkan larutan elektrolit semakin banyak mengandung anion dan kation dari NaOH. Dengan semakin banyaknya anion dan kation yang terkandung dalam larutan elektrolit akan menyebabkan larutan elektrolit semakin besar menghantarkan arus listrik dan semakin banyak pula energi listrik yang dapat digunakan untuk melakukan reaksi elektrolisis. Sehingga semakin banyak pula molekul air yang terelektrolisis dan gas HHO yang dihasilkan juga akan semakin meningkat.

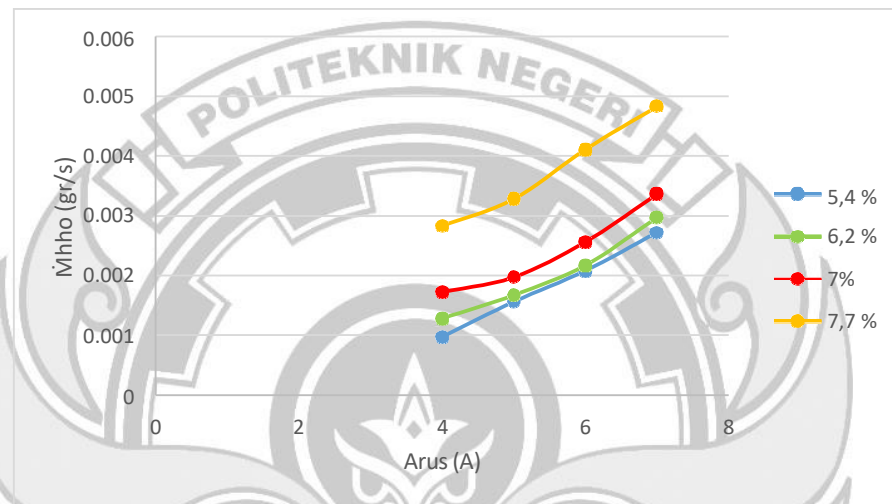
Namun pada grafik juga terlihat bahwa pada konsentrasi massa NaOH 9,2 % dengan arus 5,5 A mengalami penurunan nilai laju produksi yang sangat signifikan hingga dititik 0,00047 gr/s. Hal tersebut dikarenakan konsentrasi NaOH yang terus ditingkatkan dalam larutan elektrolit akan menyebabkan larutan elektrolit semakin jenuh, sehingga anion dan kation

dalam larutan elektrolit juga semakin sulit untuk bergerak didalam larutan ketika menghantarkan arus listrik, karena jarak antara partikel terlalu dekat. Sehingga daya hantarnya menjadi rendah dan reaksi elektrolisis yang terjadi tidak akan optimal, dan peningkatan laju produksi gas HHO cenderung menurun. Hal ini sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh Meti Maryanti dalam penelitiannya yang berjudul larutan elektrolit dan non elektrolit.

Laju produksi gas HHO tipe *wet cell* terbesar terjadi pada nilai arus 7 A dengan presentase konsentrasi NaOH 7,7 % yaitu sebesar 0,00558 gr/s. Sedangkan laju produksi terendah terjadi pada nilai arus 7A dengan presentase konsentrasi 9,2 % yaitu sebesar 0,00047 gr/s. Sedangkan berdasarkan penelitian Saharuddin (2014) tentang produksi gas HHO pada generator tipe *wet cell* dengan elektroda datar (90 mm x 90 mm) yang terpasang secara horisontal dengan presentase konsentrasi KOH 1 % - 5 % menghasilkan *mass flowrate* 0,0037 gr/s – 0,0114 gr/s dengan arus rata-rata 7 – 31,8 A. Kemudian menurut Prasetyo, dkk (2019) pada generator HHO tipe *wet cell* dengan konsentrasi NaOH 4,76 % diperoleh nilai *mass flowrate* sebesar 2,103 mL/s. Sedangkan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Putri Pratiwi, dkk (2021) pada generator HHO *wet cell* dengan elektroda *stainless steel* menghasilkan nilai *mass flowrate* sebesar 3,1 mL/s – 4,2 mL/s dengan konsentrasi NaOH 13 % pada arus 7,5 A .

Nilai *mass flowrate* yang dihasilkan pada penelitian yang telah dilakukan lebih rendah dibandingkan *mass flowrate* yang dihasilkan pada

penelitian 3 penelitian sebelumnya di atas. Hal tersebut dikarenakan adanya perbedaan metode pengambilan data serta perbedaan jenis dan konsentrasi katalis yang digunakan, serta perbedaan nilai arus *input* ke generator HHO.

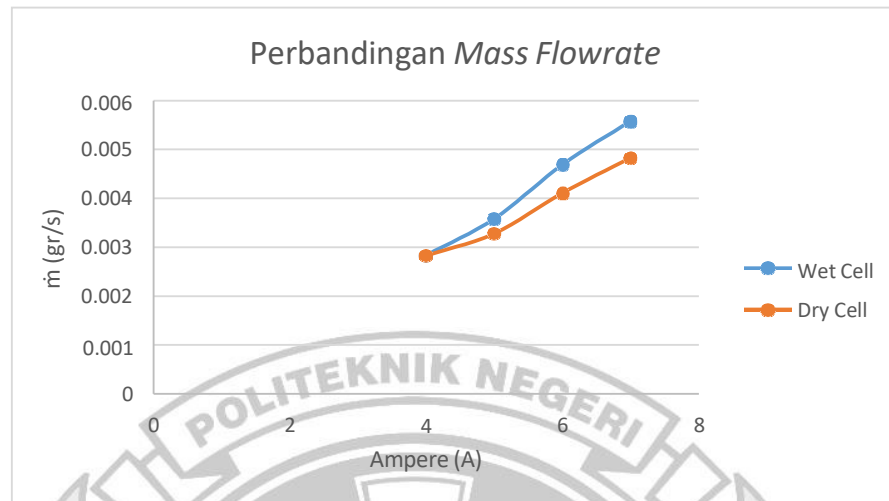


Gambar 4. 5 Grafik Hubungan Arus *Input* Generator HHO dan Konsentrasi NaOH terhadap *Mass Flowrate* dari Generator HHO *Dry Cell Type*

Sama halnya dengan generator HHO tipe *wet cell* berdasarkan gambar 4.5 grafik *mass flowrate* gas HHO tipe *dry cell* terhadap arus terlihat bahwa laju produksi gas HHO naik seiring bertambahnya nilai arus dan presentase konsentrasi NaOH. Dimana laju produksi gas HHO tipe *dry cell* terbesar terjadi pada nilai arus 7 A dengan presentasi konsentrasi NaOH 7,7 % yaitu sebesar 0,00483 gr/s dan laju produksi gas HHO terendah terjadi pada nilai arus 4 A dengan konsentrasi NaOH 5,4 % sebesar 0,00097 gr/s.

Menurut penelitian Attila GÖ LLEI (2014) tentang *Measuring and Optimisation of HHO Dry Cell for Energy Efficiency*, *mass flowrate* yang dihasilkan adalah sebesar 0,033 – 4,933 mL/s pada konsentrasi 1 – 10 % KOH. Sedangkan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Yusuf Dewantoro, dkk (2021) pada generator HHO *dry cell* terhadap variasi elektrolit dan arus listrik menghasilkan *mass flowrate* minimum sebesar 0,277 mL/s dengan arus 2 A dan 2,91 mL/s dengan arus 20 A pada konsentrasi KOH 5,7 % dan *mass flowrate* maksimum sebesar 0,277 mL/s dengan arus 2 A dan 8,33 mL/s dengan arus 20 A pada konsentrasi KOH 17,2 %.

Nilai *mass flowrate* yang dihasilkan pada penelitian yang telah dilakukan ini lebih rendah dibandingkan *mass flowrate* yang dihasilkan pada 3 penelitian sebelumnya di atas. Hal tersebut dikarenakan adanya perbedaan metode pengambilan data serta presentase konsentrasi katalis dan arus yang digunakan generator HHO untuk proses elektrolisis.

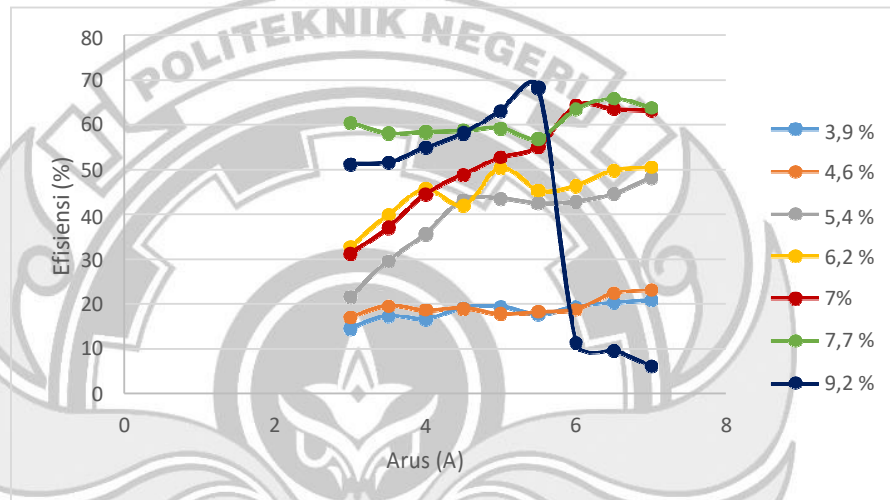


Gambar 4. 6 Perbandingan *Mass Flowrate* Generator HHO *Dry Cell Type* dan Generator HHO *Wet Cell Type*

Dari kedua jenis generator HHO tersebut, generator HHO tipe *wet cell* menghasilkan laju produksi yang lebih tinggi dibandingkan dengan generator HHO tipe *dry cell*. Hal tersebut dikarenakan pada generator HHO tipe *wet cell* memiliki luas penampang yang lebih besar dibandingkan generator HHO tipe *dry cell* sehingga gas yang dihasilkan umumnya lebih banyak dan stabil. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Ghiffari A.Y. (2013). Dimana berdasarkan gambar 4.6 di atas diperoleh dari data hasil perhitungan generator HHO tipe kering dan tipe basah dengan konsentrasi NaOH 7,7 %.

4.3.1.3. Efisiensi Generator HHO

Gambar berikut menunjukkan hubungan antara arus *input* generator HHO dan presentase NaOH terhadap efisiensi generator HHO yang dihasilkan. Dimana data yang diolah diperoleh dari hasil perhitungan generator HHO pada Lampiran 2A.



Gambar 4. 7 Grafik Hubungan Arus *Input* Generator HHO dan Konsentrasi NaOH terhadap Efisiensi Generator HHO *Wet Cell Type*

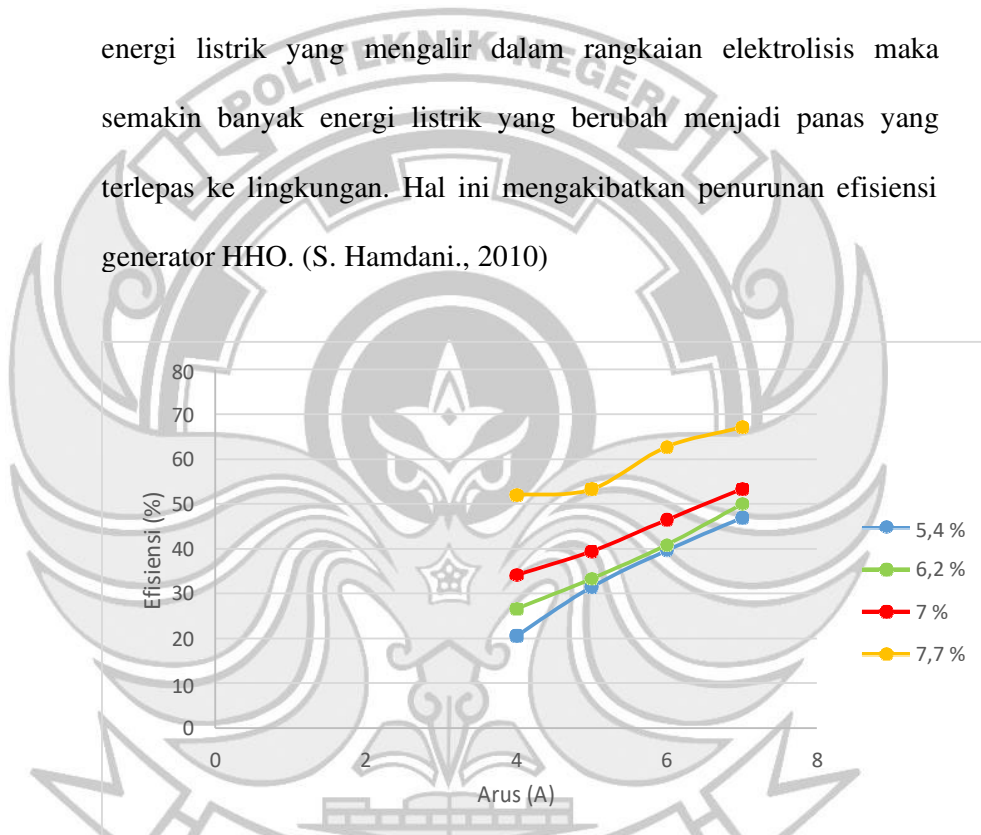
Efisiensi generator HHO merupakan perbandingan antara energi yang terkandung dalam gas HHO yang dihasilkan terhadap energi listrik yang digunakan untuk mengelektrolisis molekul H_2O menjadi gas HHO. Gambar 4.7 di atas menunjukkan bahwa efisiensi generator HHO tipe basah cenderung naik hingga mencapai efisiensi maksimum. Hal ini terjadi karena dengan semakin bertambahnya konsentrasi NaOH larutan akan semakin kuat yang semua molekul-molekulnya terurai menjadi ion-ion (terionisasi sempurna) sehingga daya hantar listrik lebih kuat dan semakin banyak energi listrik yang

dapat digunakan untuk melakukan reaksi elektrolisis. Dengan semakin bertambahnya konsentrasi NaOH menyebabkan larutan elektrolit semakin besar dalam mengalirkan arus listrik, sehingga molekul air yang terurai menjadi gas HHO semakin banyak dan energi listrik yang dikonsumsi dapat secara optimal digunakan untuk terjadinya reaksi elektrolisis air.

Dimana nilai efisiensi paling tinggi adalah sebesar 63,78 % dengan konsentrasi NaOH 7,7 % dan efisiensi terendah adalah 14,61 % dengan konsentrasi NaOH 3,9%. Sedangkan berdasarkan penelitian Saharuddin (2014) tentang produksi gas HHO pada generator tipe *wet cell* dengan elektroda datar (90 mm x 90 mm) yang terpasang secara horisontal dengan presentase konsentrasi KOH 1% - 5% dengan arus rata-rata 7 A – 31,8 A menghasilkan efisiensi sebesar 34% - 58%. Kemudian menurut Prasetyo, dkk (2019) pada generator HHO tipe *wet cell* dengan konsentrasi NaOH 4,76 % pada arus 38 A diperoleh nilai efisiensi sebesar 7,82 %. Sedangkan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Putri Pratiwi, dkk (2021) pada generator HHO *wet cell* dengan elektroda *stainless steel* menghasilkan nilai efisiensi sebesar 46,6 % - 53,7 % dengan konsentrasi NaOH 13 % pada arus 7,5 A. Berdasarkan nilai efisiensi yang dihasilkan penelitian yang telah dilakukan ini mempunyai nilai efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan penelitian sebelumnya. Hal ini membuktikan metode

yang digunakan selama penelitian dapat meningkatkan nilai efisiensi performa generator HHO.

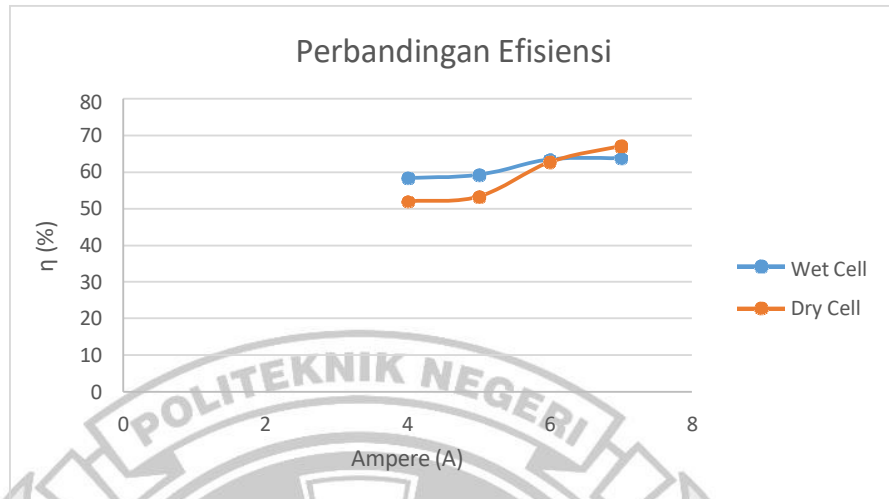
Namun setelah mencapai titik maksimum kenaikan produksi, gas HHO lebih kecil dari kenaikan energi listrik yang dibutuhkan seperti yang terlihat pada gambar 4.7 yang disebabkan oleh semakin besarnya energi listrik yang mengalir dalam rangkaian elektrolisis maka semakin banyak energi listrik yang berubah menjadi panas yang terlepas ke lingkungan. Hal ini mengakibatkan penurunan efisiensi generator HHO. (S. Hamdani., 2010)



Gambar 4. 8 Grafik Hubungan Arus *Input* Generator HHO dan Konsentrasi NaOH terhadap Efisiensi Generator HHO *Dry Cell Type*

Sama halnya dengan generator HHO *wet cell type*, grafik hubungan efisiensi terhadap arus untuk generator HHO tipe *dry cell* menunjukkan tren grafik yang terus meningkat seiring dengan peningkatan arus dan konsentrasi NaOH yang diberikan. Gambar 4.8

diatas menunjukkan nilai efisiensi generator HHO tipe kering paling tinggi yaitu mencapai 67,08 % dengan konsentrasi NaOH 7,7 % dan efisiensi terendah sebesar 20,49 % dengan konsentrasi NaOH 5,4 %. Efisiensi yang diperoleh ini lebih tinggi dibandingkan efisiensi yang diperoleh Attila GÖ LLEI (2014) dalam penelitiannya yang berjudul *Measuring and Optimisation of HHO Dry Cell for Energy Efficiency*, dengan efisiensi optimum sebesar 55 % pada konsentrasi 6 % KOH. Kemudian menurut Bahman, dkk (2021) yang memperoleh nilai efisiensi optimum pada generator HHO tipe *dry cell* sebesar 39,12 % pada konsentrasi NaOH 6 % dalam penelitiannya yang tentang *Effects of low-level hydroxy as a gaseous additive on performance and emission characteristics of a dual fuel diesel engine fueled by diesel/biodiesel blends*. Tetapi pada penelitian yang dilakukan Yusuf Dewantoro, dkk (2021) pada generator HHO *dry cell* terhadap variasi konsentrasi elektrolit dan arus listrik menghasilkan efisiensi yang lebih besar dibandingkan efisiensi yang diperoleh pada penelitian yang telah dilakukan ini. Dimana efisiensi optimum yang dihasilkan sebesar 85,86 % pada konsentrasi KOH 17,2 % dengan arus 20 A.

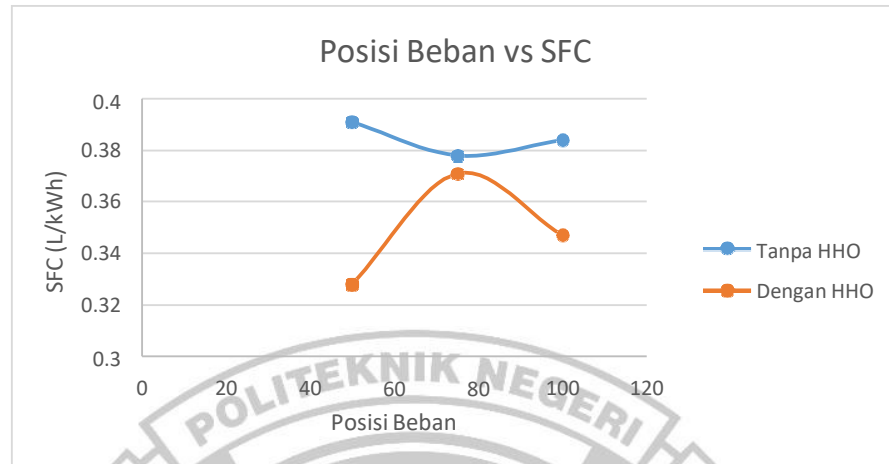


Gambar 4. 9 Perbandigan Efisiensi Generator HHO *Dry Cell Type* dan Generator HHO *Wet Cell Type*

Berdasarkan gambar 4.9 di atas terlihat bahwa generator HHO tipe *wet cell* pada arus 4 A – 6 A menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan efisiensi generator HHO tipe *dry cell*. Namun pada arus 7A generator HHO tipe *dry cell* memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan generator HHO tipe *wet cell*. Dimana nilai efisiensi tersebut merupakan efisiensi optimum yaitu sebesar 67 % tetapi nilai efisiensi tersebut tidak berbeda secara signifikan dengan efisiensi yang dihasilkan oleh generator HHO tipe *wet cell* yaitu sebesar 66 %. Data pada gambar 4.9 di atas diperoleh dari data hasil perhitungan generator HHO tipe kering dan tipe basah dengan konsentrasi NaOH 7,7 %.

4.3.2. Analisa Data Jumlah Produksi Minimum Gas HHO terhadap Nilai Optimal Efisiensi Genset

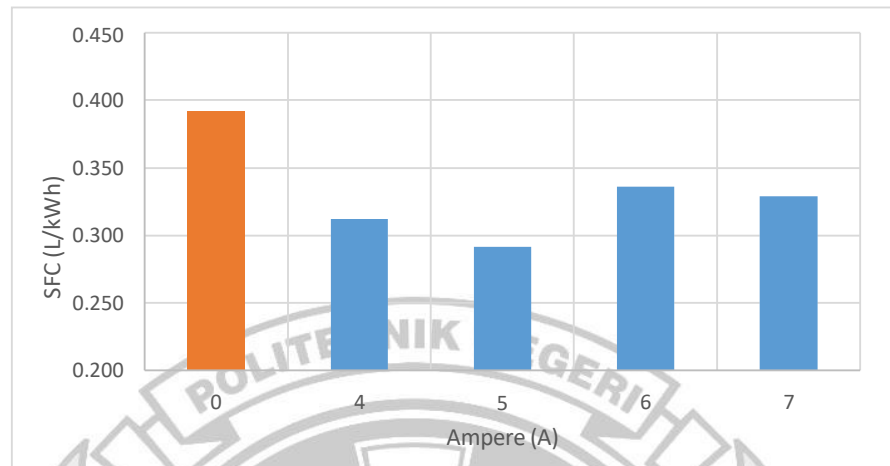
Pada sub bab ini akan ditampilkan grafik dan pembahasan berdasarkan data-data yang telah diambil dari pengujian implementasi gas HHO pada genset *Silent Inverter* 2000 Watt 2,5 kVa *Exell EX3000i* untuk mengetahui pengaruh penambahan gas HHO. Analisa yang digunakan adalah dengan cara membandingkan performa genset berupa nilai konsumsi bahan bakar *pertalite* dengan penambahan gas HHO dibandingkan dengan performa genset tanpa menggunakan penambahan gas HHO atau dalam kondisi standar. Gas HHO yang diimplementasikan pada genset *Silent Inverter* 2000 Watt 2,5 kVa *Exell EX3000i* adalah hasil pengujian performa generator HHO yang memiliki laju produksi gas HHO dan nilai efisiensi yang paling optimum. Dari analisa performa generator HHO terhadap data-data yang diperoleh dari pengujian, didapatkan performa generator yang terbaik adalah generator HHO tipe kering dengan presentase konsentrasi NaOH 7,7 %. Adapun data yang akan dianalisa adalah parameter performa genset seperti konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) terhadap posisi beban sebelum dan sesudah penambahan gas HHO dan SFC terhadap arus *Input* generator HHO. Berikut adalah hasil analisa dari data yang telah diambil dari pengujian performa genset dengan variasi arus dari generator HHO, ditampilkan dengan grafik.



Gambar 4. 10 Perbandingan *Specific Fuel Consumption* (SFC) dengan dan tanpa Menggunakan Gas HHO pada Variasi Beban 50 %, 75 %, dan 100 %

Berdasarkan gambar 4.10 dapat diketahui bahwa konsumsi bahan bakar sebelum penambahan gas HHO berpengaruh cukup signifikan dibandingkan konsumsi bahan bakar setelah penambahan gas HHO. Hal itu menunjukkan bahwa penggunaan gas HHO dapat menghemat konsumsi bahan bakar. Nilai SFC pada beban 100 lebih besar dibandingkan pada beban 75 dan 50. Dimana berdasarkan grafik di atas nilai SFC terendah terdapat pada posisi beban 50 dengan penambahan gas HHO. Dari grafik juga terlihat bahwa pada beban 75 nilai SFC sebelum dan setelah penambahan gas HHO memiliki perbedaan yang tidak begitu signifikan.

Definisi SFC adalah perbandingan antara konsumsi bahan bakar dengan daya efektif yang terjadi, sehingga semakin besar konsumsi bahan bakar akan memperbesar nilai SFC begitu pula sebaliknya jika daya yang terjadi semakin besar maka nilai SFC menjadi lebih kecil.



Gambar 4. 11 Perbandingan *Specific Fuel Consumption* (SFC) sebelum dan setelah penambahan gas HHO terhadap Arus *Input* Generator HHO

Gambar 4.11 menunjukkan hubungan antara *Specific Fuel Consumption* (SFC) yang dihasilkan sebelum dan sesudah penambahan gas HHO terhadap arus yang diberikan generator HHO untuk memproduksi gas HHO. Arus 0 A diatas menunjukkan kondisi standar atau tanpa penambahan gas HHO.

Berdasarkan grafik diatas jumlah SFC sebelum penambahan gas HHO sebesar 0,783 L/kWh. Nilai ini merupakan nilai tertinggi yang dihasilkan karena pada kondisi ini bahan bakar belum bercampur dengan gas HHO. Kemudian setelah penambahan gas HHO nilai SFC menjadi lebih kecil yang berarti bahwa bahan bakar yang dikonsumsi genset semakin kecil pula. Sehingga dapat dikatakan nilai SFC yang paling kecil adalah nilai SFC yang terbaik. Pada grafik diatas, SFC menurun terjadi pada penambahan gas HHO dengan arus 4 A – 5 A yang masing-masing sebesar 0,624 L/kWh dan 0,583 L/kWh. Namun dengan pemberian arus 6 A – 7 A

nilai SFC kembali mengalami peningkatan dengan nilai SFC masing-masing 0,672 L/kWh dan 0,658 L/kWh. Oleh karena itu, pada kondisi penambahan gas HHO dengan arus 5A menunjukkan performa terbaik dari genset. Hal ini karena dengan penambahan HHO kecepatan pembakaran yang terjadi akan meningkat sehingga pembakaran akan semakin sempurna.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian dan menganalisis data yang ada, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Kondisi kerja optimum Generator HHO dicapai pada presentase konsentrasi NaOH sebesar 7,7 % baik generator HHO *Dry Cell Type* maupun *Wet Cell Type* pada arus 7 A pada tegangan yang konstan 13 V.
2. Nilai efisiensi generator HHO baik *dry cell* maupun *wet cell* dipengaruhi oleh besar konsentrasi NaOH dan jumlah energi *Input*. Dimana efisiensi cenderung naik jika presentase konsentrasi NaOH lebih besar demikian juga besar energi *Input*. Efisiensi maksimum generator HHO tipe *dry cell* dibandingkan dengan efisiensi maksimum generator HHO tipe *wet cell* memiliki perbedaan yang tidak signifikan. Dimana generator HHO *Dry Cell Type* memiliki efisiensi sebesar 67 % dan untuk generator HHO *Wet Cell Type* menghasilkan efisiensi sebesar 66 %
3. Penambahan gas HHO mempunyai efek dapat menurunkan penggunaan bahan bakar atau menurunkan nilai SFC. Dimana penghematan bahan bakar paling optimal diperoleh pada produksi gas HHO dengan pemberian arus 5 A dengan *mass flowrate* 0,00328 gr/s dan nilai optimum SFC yang dihasilkan sebesar 0,583 L/kWh.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan berikut saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya.

1. Perlu penggunaan data *logger* agar memudahkan dalam pengambilan data dan hasil yang diperoleh lebih akurat dibandingkan pengambilan data secara manual.
2. Perlu pengembangan sistem kontrol pemasukan gas hidrogen hasil elektrolisis agar *supply* yang masuk ke ruang bakar dapat terkontrol jumlah dan debit gas hidrogen.
3. Diperlukan alat pengukur laju produksi gas untuk hasil pengukuran yang lebih akurat karena laju produksi sangat mempengaruhi performa generator HHO.
4. Dalam melakukan eksperimen perlu diperhatikan tentang keselamatan dalam pengoperasian semua peralatan yang hendak digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- A. M. Putra, 'Analisis Produktivitas Gas Hidrogen dan Gas Oksigen pada Elektrolisis Larutan KOH.' *J. Neutrino*, vol. 2, no. 2, pp. 141-154, 2012, doi; 10.18860/neu.v0i0.1642.
- Ant. Ardath Kristi1*) , Abdullah Alhaddad2) , Muhammad Abdurrahman hafidhuddien3), Noviadi Arief Rachman4), Agus Risdiyanto 5), Bambang Susanto6), Agus Junaedi7 (2020). *Perancangan Sistem Pendingin Photovoltaic Dengan Memanfaatkan Kontroler Water Spray*, 12, 47–53.
- Bambang Sudarmanta, Sudjud Darsopuspito, and Djoko Sungkono, "Application of Dry Cell HHO Gas Generator with Pulse Width Modulation on Sinjai Spark Ignition Engine Performance", *International Journal of Research in Engineering and Technology* Volume: 05 Issue: 02. (2016)
- Chamma, Bukry, 2015, *Perancangan Alat Pengisi Baterai Lead Acid Berbasis Mikrokontroler ATMEGA 8535*, Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Cobb, H.M.1999. *Steel Product Manual : Stainless Steel*. Warrendale P.A. Iron and Steel Society.
- C. R. P Patel *et al.*, "Enhanced hydrogen generation by water electrolysis employing carbon nano-structure composites," *int. J. Hydrogen energy*, vol. 43, no. 6, pp. 3180-3189, 2018, doi;
- David Tabolt.1998. *Corrosion Science and Technology*.
- Ghiffari A.Y. (2013), *Studi Karakteristik Generator Gas HHO Tipe Dry Cell dan Wet Cell Berdimensi 80x80 mm Dengan Penambahan PWM E-3 FF (1 kHz)*, Tugas akhir, ITS, Surabaya.
- H. Harman and A. Ahyar, "Design of HHO Generator to Reduce Exhaust Gas Emissions and Fuel Consumption of Non-Injection Gasoline Engine," *J. Din. Vokasional Tek. Mesin*, vol. 4, no. 1, pp. 9– 17, 2019.
- Hidayatullah, Poempida dan Mustari, F.2008. *Hibrid Hidrogen Menggunakan air*.

- J. Shim, K.A. Striebel, "Cycling performance of low-cost lithium ion batteries with natural graphite and LiFePO_4 ", *Journal of Power Sources*, vol. 119, hal. 955–958, 2013.
- K. Mazloomi and C. Gomes, "hydrogen as an energy carrier; Prospects and challenges," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 5, pp. 3024-3033, 2012, doi;
- Kuphaldt, T.R, (2012), *Lesson In Industrial Instrumentation, 1.22 edition*, Tony R. Kuphaldt, California.
- Lowrie, Peter. 2006. *Electrolytic Gas*.
- Made, N. A. Y., Wahyono, A. 2012. "Produksi Gas Hidrogen Melalui Proses Elektrolisis Air Sebagai Sumber Energi Hidrogen Production By Electrolysis Process As An Energi Source". Jurusan Teknik Mesin. ITS
- Mallove, Eugene. 1998. Stanley Meyer, *Water-Fuel Cell Inventor & Promoter*, Dies Suddenly
- Meti Marayanti., 2008. "Larutan Elektrolit dan Non Elektrolit". Bahan ajar., Jurusan Pendidikan Kimia FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia.
- Murjito, "Rancang Bangun Electrolyzer Sistem *Dry Cell* untuk Penghematan Bahan Bakar Kendaraan Bermotor," *J. Gamma*, vol. 9, no. 1, pp. 179–186, 2015.
- Nofriyandi, R. (2014), Aplikasi Gas HHO Pada Sepeda Motor 150 cc, Tesis Magister, ITS, Surabaya.
- Nugroho S. Adjie. 2011, "Perancangan dan Implementasi DC to DC Konverter sebagai *Driver Motor DC* Kapasitas 200 Volt Ampere dengan Metode *Pulse Width Modulation*". Bandung: IT Telkom
- O'Connor, Ken., Maret 2006. *Guide to Safety of Hydrogen and Hydrogen Systems*.
- B Pattiasina, Aqila Fakhira Andante (2022) *Analisa Pengaruh Kemiringan Panel Surya Jenis Silicone Monocrystalline Terhadap Daya Output Yang*

Dihasilkan. Sarjana thesis, Universitas Siliwangi.MS Document GLM-QSA-1700.1.

R. Indonesia, Statistik Minyak dan Gas Bumi Direktorat Minyak dan Gas Bumi, Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2021.

Rasiawan, 2009. Rancang Bagun Elektronik Kontrol Sistem Elektroleser Brown Gas Pada Kendaraan, Thesis S2 Teknik Mesin FTI-ITS, Surabaya.

S. A. Sherif et al., "*Handbook of Hydrogen Energy Edited By,*" CRC Press. Fr. Gr., 2014.

S. Hamdani., 2010. "Larutan"., Kumpulan Artikel kimia dan Farmasi.

Santilli RM.2003 *The Novel Magnecular Species of Generator and Oxygen with Increased Specific Weight and Energy Density.* Internasional Jurnal Hydrogen Energy 2003; 28:177–96.

Widodo Dan Bangunan Komersial, P. (n.d.). *STRATEGI APLIKASI SEL SURYA (PHOTOVOLTAIC CELLS) PADA*. Dapat diakses pada <http://puslit.petra.ac.id/journals/architecture/>



LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

Lampiran 1A Data Pengujian Generator HHO *Wet Cell Type*

Data pengujian Generator HHO *Wet Cell Type* dengan Konsentrasi NaOH 3,9 %

No.	Waktu (menit)	Tegangan Baterai (V)	Arus Baterai (A)	Energi input (Wh)		Ah	Tegangan GHHO (V)		Arus GHHO (A)	Massa		Selisih Massa		Massa
										Awal	Akhir			
1.	3	13,05	3,57	2,6	2,53	0,198	12,9	12,80	3	435,54	435,61	0,07	0,07	0,1
		13,05	3,57	2,5		0,194	12,9			435,52	435,59	0,07		
		13,05	3,55	2,5		0,195	12,9			435,54	435,60	0,06		
2.	3	12,93	4,1	2,9	3,00	0,227	12,9	12,60	3,5	435,54	435,64	0,1	0,09	0,14
		12,93	4,06	3,2		0,244	12,9			435,54	435,63	0,09		
		12,93	4,06	2,9		0,228	12,9			435,54	435,63	0,09		
3.	3	12,86	4,5	3,2	3,23	0,248	12,7	12,50	4	435,52	435,62	0,10	0,10	0,145
		12,86	4,53	3,3		0,25	12,7			435,52	435,62	0,1		
		12,86	4,53	3,2		0,248	12,7			435,52	435,61	0,09		
4.	3	12,79	5,03	3,6	3,67	0,28	12,5	12,37	4,5	435,52	435,64	0,12	0,13	0,19
		12,75	5,08	3,7		0,285	12,5			435,52	435,65	0,13		
		12,75	5,08	3,7		0,286	12,5			435,52	435,65	0,13		
5.	3	12,65	5,5	3,8	3,80	0,299	12,4	12,30	5	435,52	435,65	0,13	0,13	0,2

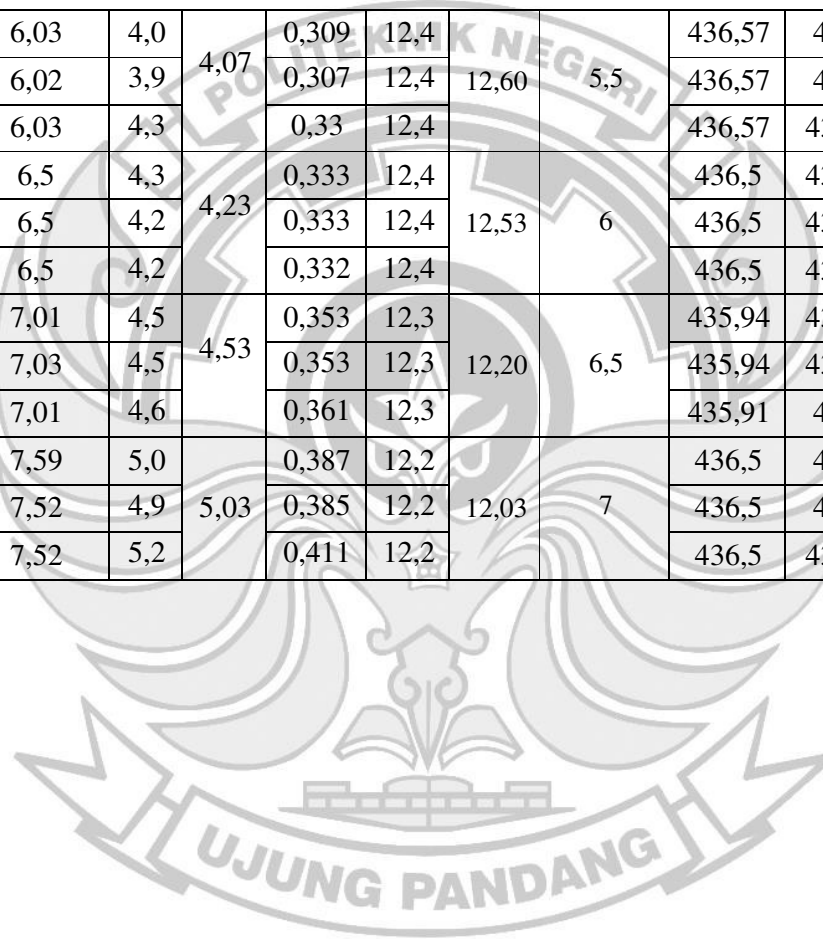
		12,65	5,5	3,8		0,303	12,4			435,52	435,65	0,13		
		12,57	5,55	3,8		0,3	12,4			435,52	435,66	0,14		
6.	3	12,42	6,06	4,2	4,20	0,33	12,2	12,20	5,5	435,52	435,65	0,13	0,13	0,2
		12,45	6,07	4,2		0,337	12,2			435,52	435,65	0,13		
		12,45	6,07	4,2		0,336	12,2			435,52	435,66	0,14		
7.	3	12,47	6,57	4,5	4,47	0,358	12,2	12,17	6	435,52	435,68	0,16	0,16	0,23
		12,47	6,57	4,5		0,359	12,1			435,52	435,68	0,16		
		12,42	6,54	4,4		0,346	12,1			435,52	435,67	0,15		
8.	3	12,45	7,01	4,5	4,63	0,353	12,1	12,03	6,5	435,52	435,69	0,17	0,17	0,25
		12,45	6,98	4,7		0,361	12,1			435,52	435,68	0,16		
		12,47	6,99	4,7		0,361	12,1			435,52	435,7	0,18		
9.	3	12,43	7,47	5,2	5,13	0,415	12,1	11,93	7	435,52	435,7	0,18	0,19	0,29
		12,42	7,53	5		0,398	12,1			435,52	435,72	0,2		
		12,42	7,54	5,2		0,416	12,1			435,52	435,72	0,2		



Data pengujian Generator HHO *Wet Cell Type* dengan Konsentrasi NaOH 4,6 %

No.	Waktu (menit)	Tegangan Baterai (V)	Arus Baterai (A)	Wh	Ah	Tegangan GHHO (V)	Arus GHHO (A)	Massa		Selisih Massa	Massa		
								Awal	Akhir				
1.	3	13,84	3,6	2,5	2,50	0,183	13,7	13,07	3	434,6	434,68	0,08	0,11
		13,84	3,56	2,6		0,184	13,7			434,6	434,68	0,08	
		13,86	3,5	2,4		0,176	13,7			434,6	434,67	0,07	
2.	3	13,72	4,06	2,8	2,83	0,206	13,5	13,00	3,5	434,59	434,69	0,1	0,15
		13,77	4,07	2,9		0,208	13,6			434,59	434,69	0,1	
		13,75	4,06	2,8		0,207	13,6			434,61	434,71	0,1	
3.	3	13,51	4,55	3,4	3,40	0,248	13,4	12,87	4	434,6	434,72	0,12	0,17
		13,51	4,51	3,5		0,252	13,4			434,6	434,7	0,1	
		13,1	4,55	3,3		0,248	12,9			434,6	434,72	0,12	
4.	3	12,79	5,08	3,5	3,50	0,283	12,5	12,77	4,5	436,23	436,36	0,13	0,18
		12,79	5,08	3,5		0,272	12,6			436,23	436,34	0,11	
		12,79	5,07	3,5		0,272	12,6			435,99	436,11	0,12	
5.	3	12,75	5,55	3,9	3,87	0,281	12,5	12,70	5	436,57	436,69	0,12	0,19
		12,75	5,54	4,0		0,361	12,5			436,57	436,69	0,12	
		12,75	5,55	3,7		0,286	12,5			436,57	436,7	0,13	

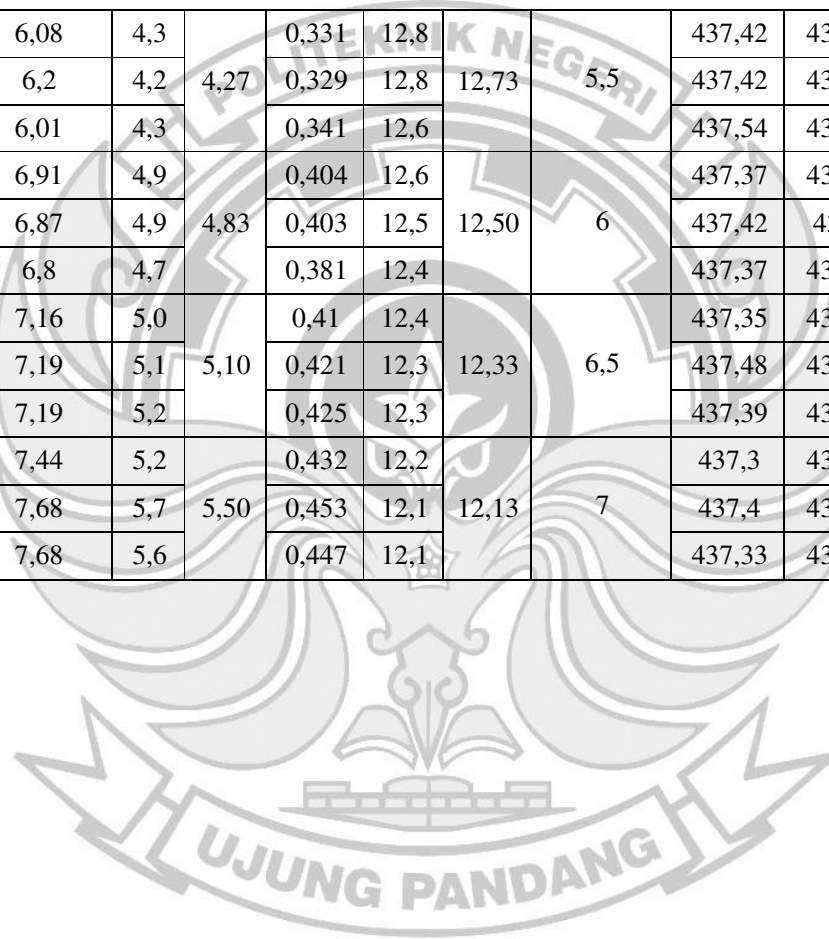
6.	3	12,7	6,03	4,0	4,07	0,309	12,4	12,60	5,5	436,57	436,7	0,13	0,13	0,2
		12,72	6,02	3,9		0,307	12,4			436,57	436,7	0,13		
		12,72	6,03	4,3		0,33	12,4			436,57	436,71	0,14		
7.	3	12,66	6,5	4,3	4,23	0,333	12,4	12,53	6	436,5	436,66	0,16	0,14	0,22
		12,66	6,5	4,2		0,333	12,4			436,5	436,64	0,14		
		12,66	6,5	4,2		0,332	12,4			436,5	436,63	0,13		
8.	3	12,63	7,01	4,5	4,53	0,353	12,3	12,20	6,5	435,94	436,13	0,19	0,18	0,28
		12,57	7,03	4,5		0,353	12,3			435,94	436,11	0,17		
		12,59	7,01	4,6		0,361	12,3			435,91	436,1	0,19		
9.	3	12,5	7,59	5,0	5,03	0,387	12,2	12,03	7	436,5	436,7	0,2	0,21	0,31
		12,5	7,52	4,9		0,385	12,2			436,5	436,7	0,2		
		12,49	7,52	5,2		0,411	12,2			436,5	436,73	0,23		



Data pengujian Generator HHO *Wet Cell Type* dengan Konsentrasi NaOH 5,4 %

No.	Waktu (menit)	Tegangan Baterai (V)	Arus Baterai (A)	Wh	Ah	Tegangan GHHO (V)	Arus GHHO (A)	Massa		Selisih Massa	Massa			
								Awal	Akhir					
1.	3	13,45	3,5	2,6	2,57	0,195	13,3	13,27	3	436,69	436,79	0,1	0,10	0,15
		13,45	3,52	2,6		0,195	13,3			436,69	436,79	0,1		
		13,37	3,5	2,5		0,189	13,2			436,69	436,79	0,1		
2.	3	13,26	4,02	3,0	3,00	0,222	13,2	13,20	3,5	436,69	436,85	0,16	0,16	0,24
		13,47	4,03	3,0		0,223	13,2			436,69	436,85	0,16		
		13,47	4,03	3,0		0,221	13,2			436,69	436,85	0,16		
3.	3	13,53	4,57	3,6	3,53	0,267	13,1	13,07	4	436,55	436,77	0,22	0,23	0,34
		13,3	4,5	3,6		0,269	13,1			436,57	436,8	0,23		
		13,3	4,51	3,4		0,251	13			436,37	436,6	0,23		
4.	3	12,98	5,03	3,6	3,63	0,275	13	12,90	4,5	436,37	436,65	0,28	0,28	0,42
		12,96	5,04	3,7		0,281	12,8			436,34	436,63	0,29		
		12,92	5,04	3,6		0,28	12,9			436,35	436,63	0,28		
5.	3	12,82	5,54	3,9	3,87	0,299	12,9	12,87	5	436,37	436,68	0,31	0,30	0,45
		12,89	5,53	3,8		0,293	12,9			436,35	436,65	0,3		
		12,93	5,52	3,9		0,299	12,8			436,35	436,65	0,3		

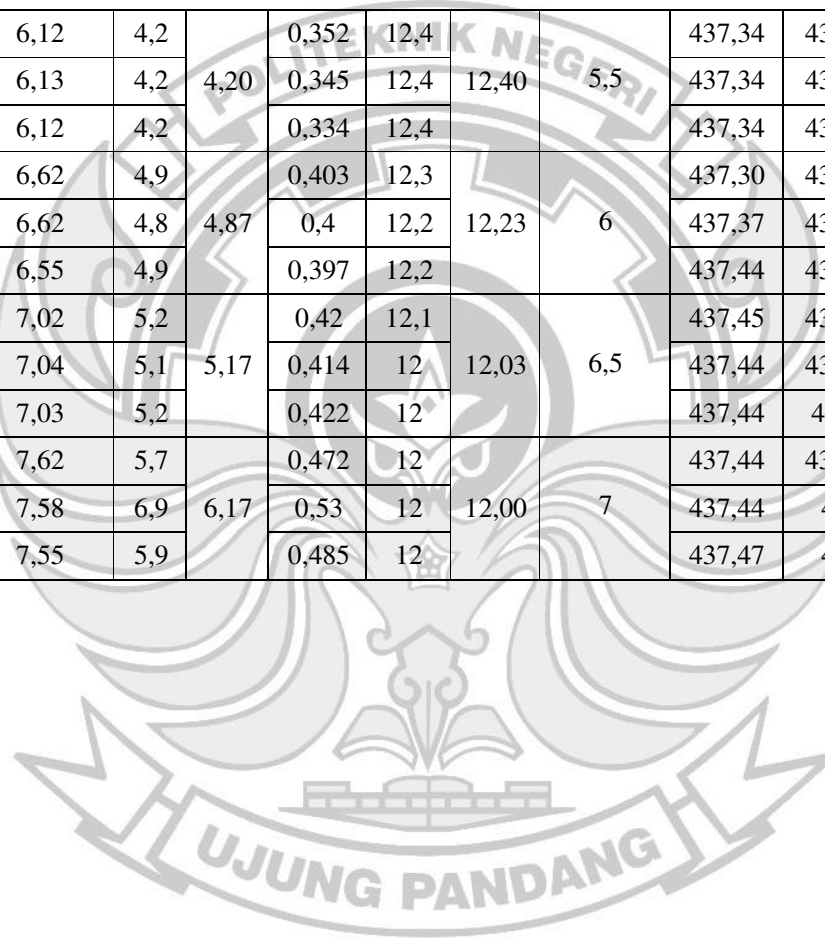
6.	3	12,72	6,08	4,3	4,27	0,331	12,8	12,73	5,5	437,42	437,75	0,33	0,33	0,49
		12,72	6,2	4,2		0,329	12,8			437,42	437,75	0,33		
		12,52	6,01	4,3		0,341	12,6			437,54	437,86	0,32		
7.	3	12,12	6,91	4,9	4,83	0,404	12,6	12,50	6	437,37	437,74	0,37	0,37	0,56
		12,12	6,87	4,9		0,403	12,5			437,42	437,8	0,38		
		12,15	6,8	4,7		0,381	12,4			437,37	437,74	0,37		
8.	3	12,05	7,16	5,0	5,10	0,41	12,4	12,33	6,5	437,35	437,76	0,41	0,41	0,61
		12,05	7,19	5,1		0,421	12,3			437,48	437,88	0,4		
		12,05	7,19	5,2		0,425	12,3			437,39	437,81	0,42		
9.	3	12,38	7,44	5,2	5,50	0,432	12,2	12,13	7	437,3	437,77	0,47	0,48	0,72
		12,38	7,68	5,7		0,453	12,1			437,4	437,87	0,47		
		12,35	7,68	5,6		0,447	12,1			437,33	437,82	0,49		



Data pengujian Generator HHO *Wet Cell Type* dengan Konsentrasi NaOH 6,2 %

No.	Waktu (menit)	Tegangan Baterai (V)	Arus Baterai (A)	Wh	Ah	Tegangan GHHO (V)	Arus GHHO (A)	Massa		Selisih Massa	Massa			
								Awal	Akhir					
1.	3	12,94	3,52	2,6	2,60	0,206	13,4	13,37	3	437,64	437,78	0,14	0,15	0,23
		12,98	3,52	2,5		0,203	13,4			437,67	437,83	0,16		
		12,98	3,52	2,7		0,209	13,3			437,64	437,80	0,16		
2.	3	12,87	4,06	2,7	2,79	0,21	13,2	13,13	3,5	437,50	437,70	0,2	0,20	0,30
		12,89	4,05	2,8		0,211	13,1			437,49	437,70	0,21		
		12,86	4,05	2,9		0,222	13,1			437,51	437,70	0,19		
3.	3	12,8	4,57	3,2	3,20	0,259	13	12,93	4	437,54	437,80	0,26	0,26	0,40
		12,75	4,55	3,2		0,253	12,9			437,41	437,67	0,26		
		12,8	4,55	3,2		0,253	12,9			437,33	437,60	0,27		
4.	3	12,7	5,06	3,7	3,70	0,292	12,7	12,70	4,5	437,29	437,58	0,29	0,28	0,42
		12,65	5,06	3,7		0,291	12,7			437,51	437,78	0,27		
		12,68	5,08	3,7		0,294	12,7			437,47	437,75	0,28		
5.	3	12,24	5,55	3,9	3,93	0,313	12,6	12,53	5	437,35	437,70	0,35	0,36	0,53
		12,5	5,55	4,0		0,323	12,5			437,36	437,72	0,36		
		12,26	5,55	3,9		0,315	12,5			437,35	437,71	0,36		

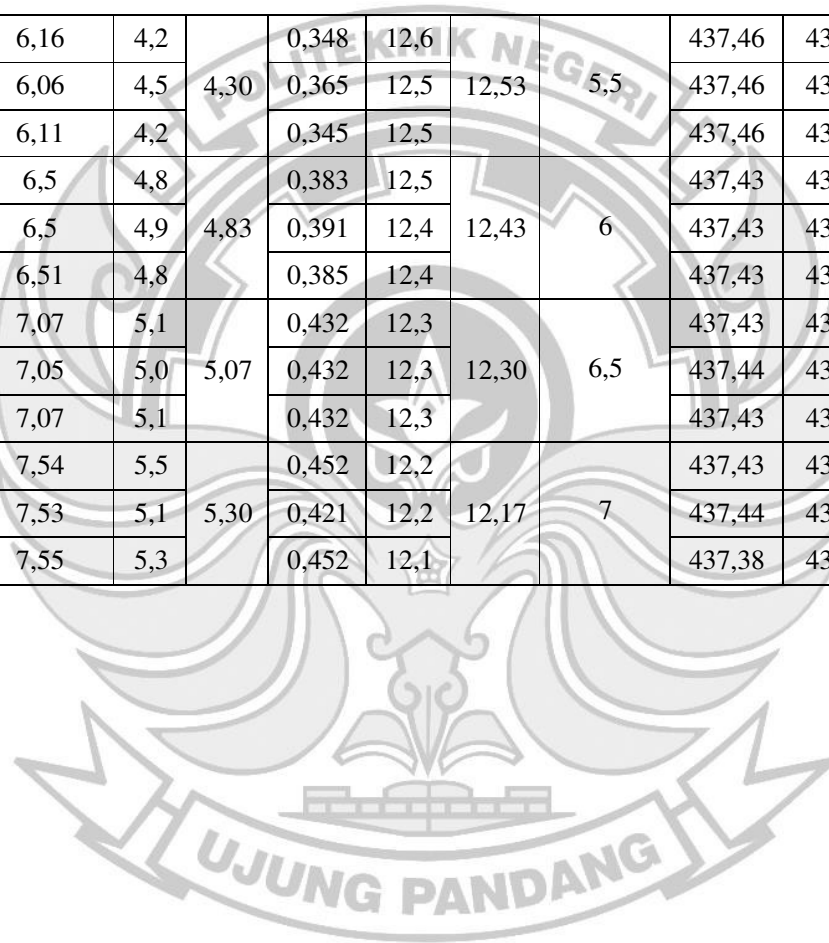
6.	3	12,15	6,12	4,2	4,20	0,352	12,4	12,40	5,5	437,34	437,70	0,36	0,34	0,52
		12,15	6,13	4,2		0,345	12,4			437,34	437,64	0,3		
		12,5	6,12	4,2		0,334	12,4			437,34	437,71	0,37		
7.	3	12,01	6,62	4,9	4,87	0,403	12,3	12,23	6	437,30	437,71	0,41	0,41	0,61
		11,98	6,62	4,8		0,4	12,2			437,37	437,79	0,42		
		12,42	6,55	4,9		0,397	12,2			437,44	437,83	0,39		
8.	3	12,35	7,02	5,2	5,17	0,42	12,1	12,03	6,5	437,45	437,91	0,46	0,46	0,70
		12,29	7,04	5,1		0,414	12			437,44	437,91	0,47		
		12,28	7,03	5,2		0,422	12			437,44	437,9	0,46		
9.	3	12,19	7,62	5,7	6,17	0,472	12	12,00	7	437,44	438,02	0,58	0,56	0,83
		12,21	7,58	6,9		0,53	12			437,44	438	0,56		
		12,22	7,55	5,9		0,485	12			437,47	438	0,53		



Data pengujian Generator HHO *Wet Cell Type* dengan Konsentrasi NaOH 7 %

No.	Waktu (menit)	Tegangan Baterai (V)	Arus Baterai (A)	Wh	Ah	Tegangan GHHO (V)		Arus GHHO (A)	Massa		Selisih Massa	Massa	
									Awal	Akhir			
1.	3	13,52	3,53	2,6	2,67	0,189	13,5	13,50	3	437,47	437,63	0,16	0,22
		13,56	3,53	2,6		0,189	13,5			437,47	437,60	0,13	
		13,53	3,54	2,8		0,204	13,5			437,49	437,65	0,16	
2.	3	13,4	4,09	2,9	3,00	0,219	13,4	13,33	3,5	437,47	437,67	0,2	0,3
		13,37	4,06	3,0		0,227	13,3			437,47	437,66	0,19	
		13,38	4,09	3,1		0,23	13,3			437,43	437,64	0,21	
3.	3	13,12	4,55	3,4	3,37	0,58	13,2	13,13	4	437,41	437,69	0,28	0,4
		12,82	4,61	3,4		0,26	13,1			437,41	437,67	0,26	
		12,75	4,56	3,3		0,239	13,1			437,41	437,68	0,27	
4.	3	12,38	5,1	3,6	3,63	0,284	13	12,90	4,5	437,35	437,66	0,31	0,48
		12,23	5,09	3,6		0,291	12,9			437,35	437,66	0,31	
		12,66	5,08	3,7		0,287	12,8			437,35	437,69	0,34	
5.	3	12,24	5,53	3,9	3,93	0,313	12,8	12,73	5	437,55	437,93	0,38	0,56
		12,22	5,54	4,0		0,328	12,7			437,51	437,88	0,37	
		12,19	5,56	3,9		0,312	12,7			437,35	437,72	0,37	

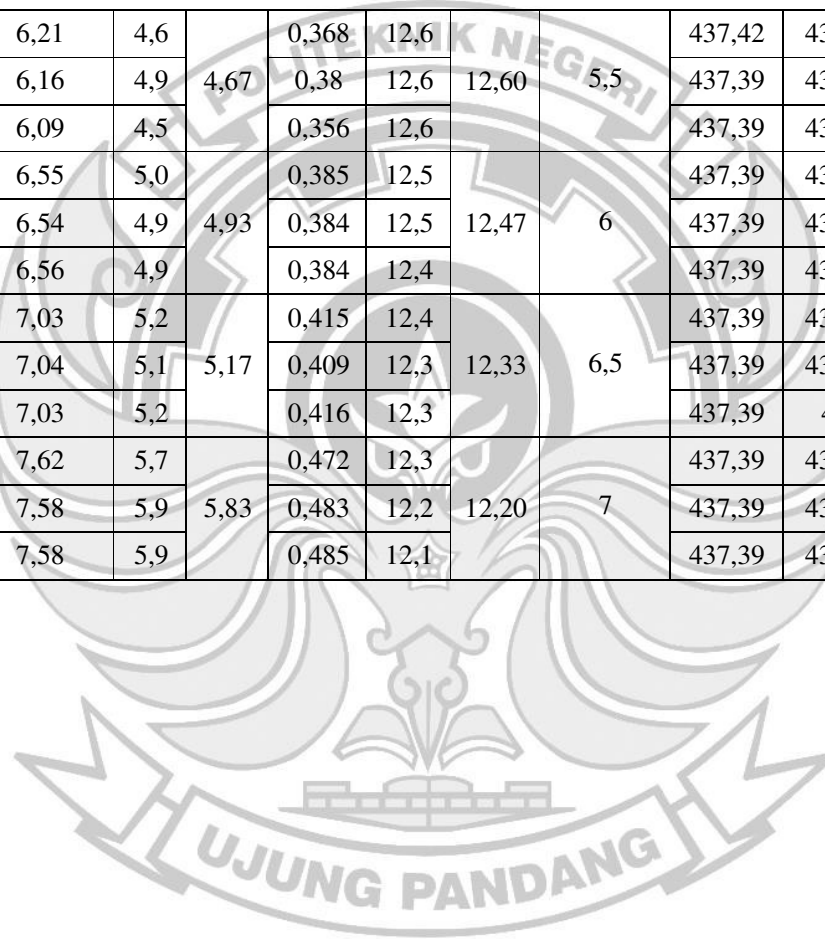
6.	3	11,84	6,16	4,2	4,30	0,348	12,6	12,53	5,5	437,46	437,88	0,42	0,43	0,64
		12,15	6,06	4,5		0,365	12,5			437,46	437,90	0,44		
		11,82	6,11	4,2		0,345	12,5			437,46	437,88	0,42		
7.	3	12,35	6,5	4,8	4,83	0,383	12,5	12,43	6	437,43	438,01	0,58	0,56	0,84
		12,36	6,5	4,9		0,391	12,4			437,43	437,98	0,55		
		12,31	6,51	4,8		0,385	12,4			437,43	437,98	0,55		
8.	3	12,29	7,07	5,1	5,07	0,432	12,3	12,30	6,5	437,43	438,02	0,59	0,58	0,87
		12,24	7,05	5,0		0,432	12,3			437,44	438,00	0,56		
		12,26	7,07	5,1		0,432	12,3			437,43	438,02	0,59		
9.	3	12,13	7,54	5,5	5,30	0,452	12,2	12,17	7	437,43	438,02	0,59	0,60	0,9
		12,14	7,53	5,1		0,421	12,2			437,44	438,02	0,58		
		12,13	7,55	5,3		0,452	12,1			437,38	438,02	0,64		



Data pengujian Generator HHO *Wet Cell Type* dengan Konsentrasi NaOH 7,7 %

No.	Waktu (menit)	Tegangan Baterai (V)	Arus Baterai (A)	Wh	Ah	Tegangan GHHO (V)	Arus GHHO (A)	Massa		Selisih Massa	Massa			
								Awal	Akhir					
1.	3	12,84	3,6	2,7	2,63	0,198	13,7	13,70	3	437,46	437,76	0,3	0,29	0,43
		12,84	3,57	2,6		0,2	13,7			437,46	437,74	0,28		
		12,84	3,62	2,6		0,202	13,7			437,46	437,74	0,28		
2.	3	12,79	4,13	2,9	2,93	0,227	13,5	13,57	3,5	437,45	437,73	0,28	0,31	0,46
		12,79	4,12	2,9		0,225	13,6			437,46	437,78	0,32		
		12,77	4,17	3,0		0,226	13,6			437,46	437,78	0,32		
3.	3	12,7	4,67	3,2	3,23	0,253	13,4	13,23	4	437,45	437,79	0,34	0,34	0,51
		12,7	4,57	3,1		0,241	13,4			437,50	437,82	0,32		
		12,7	4,57	3,4		0,266	12,9			437,44	437,80	0,36		
4.	3	12,66	5,07	3,7	3,70	0,295	12,9	12,83	4,5	437,36	437,75	0,39	0,39	0,58
		12,68	5,1	3,6		0,287	12,8			437,36	437,76	0,4		
		12,65	5,12	3,8		0,298	12,8			437,36	437,74	0,38		
5.	3	12,57	5,58	4,0	4,03	0,313	12,7	12,67	5	437,39	437,82	0,43	0,43	0,65
		12,57	5,59	4,0		0,316	12,7			437,39	437,83	0,44		
		12,54	5,62	4,1		0,322	12,6			437,39	437,81	0,42		

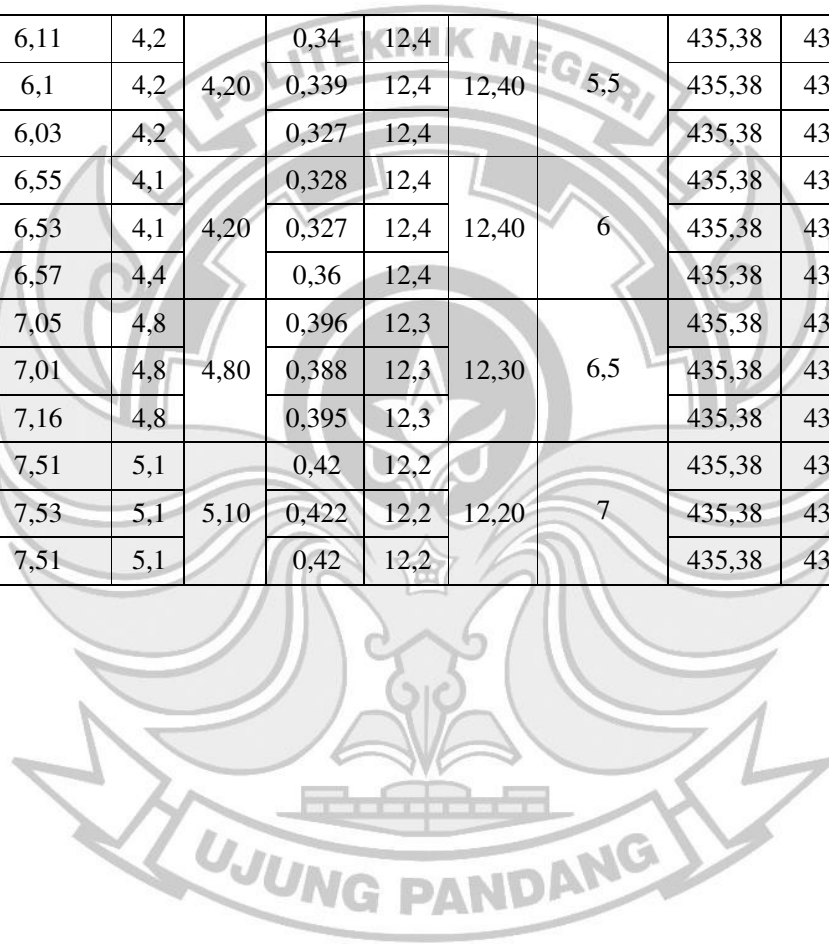
6.	3	12,52	6,21	4,6	4,67	0,368	12,6	12,60	5,5	437,42	437,89	0,47	0,48	0,72
		12,5	6,16	4,9		0,38	12,6			437,39	437,86	0,47		
		12,56	6,09	4,5		0,356	12,6			437,39	437,88	0,49		
7.	3	12,61	6,55	5,0	4,93	0,385	12,5	12,47	6	437,39	437,94	0,55	0,56	0,84
		12,61	6,54	4,9		0,384	12,5			437,39	437,96	0,57		
		12,61	6,56	4,9		0,384	12,4			437,39	437,96	0,57		
8.	3	12,5	7,03	5,2	5,17	0,415	12,4	12,33	6,5	437,39	438,02	0,63	0,61	0,92
		12,51	7,04	5,1		0,409	12,3			437,39	437,99	0,6		
		12,5	7,03	5,2		0,416	12,3			437,39	438	0,61		
9.	3	12,47	7,62	5,7	5,83	0,472	12,3	12,20	7	437,39	438,05	0,66	0,67	1,01
		12,45	7,58	5,9		0,483	12,2			437,39	438,05	0,66		
		12,45	7,58	5,9		0,485	12,1			437,39	438,08	0,69		



Data pengujian Generator HHO *Wet Cell Type* dengan Konsentrasi NaOH 9,2 %

No.	Waktu (menit)	Tegangan Baterai (V)	Arus Baterai (A)	Wh	Ah	Tegangan GHHO (V)	Arus GHHO (A)	Massa		Selisih Massa	Massa			
								Awal	Akhir					
1.	3	12,8	3,53	2,6	2,57	0,2	13,7	13,70	3	435,38	435,61	0,23	0,24	0,36
		12,86	3,55	2,5		0,198	13,7			435,38	435,62	0,24		
		12,91	3,54	2,6		0,2	13,7			435,38	435,62	0,24		
2.	3	12,75	4,09	2,8	2,83	0,218	13,5	13,57	3,5	435,38	435,65	0,27	0,26	0,39
		12,75	4,11	2,8		0,222	13,6			435,38	435,64	0,26		
		12,77	4,13	2,9		0,224	13,6			435,38	435,64	0,26		
3.	3	12,77	4,58	3,2	3,20	0,251	13,4	13,23	4	435,38	435,70	0,32	0,32	0,47
		12,77	4,59	3,2		0,252	13,4			435,38	435,69	0,31		
		12,76	4,54	3,2		0,252	12,9			435,38	435,70	0,32		
4.	3	12,65	5,11	3,6	3,60	0,286	12,5	12,57	4,5	435,38	435,75	0,37	0,38	0,56
		12,66	5,09	3,6		0,279	12,6			435,38	435,78	0,4		
		12,66	5,07	3,6		0,263	12,6			435,38	435,74	0,36		
5.	3	12,57	5,54	4,0	3,97	0,314	12,5	12,50	5	435,38	435,82	0,44	0,45	0,67
		12,52	5,58	4,0		0,316	12,5			435,38	435,84	0,46		
		12,37	5,61	3,9		0,32	12,5			435,38	435,83	0,45		

6.	3	12,19	6,11	4,2	4,20	0,34	12,4	12,40	5,5	435,38	435,89	0,51	0,52	0,78
		12,16	6,1	4,2		0,339	12,4			435,38	435,89	0,51		
		12,47	6,03	4,2		0,327	12,4			435,38	435,91	0,53		
7.	3	12,49	6,55	4,1	4,20	0,328	12,4	12,40	6	435,38	435,46	0,08	0,09	0,13
		12,45	6,53	4,1		0,327	12,4			435,38	435,47	0,09		
		12,35	6,57	4,4		0,36	12,4			435,38	435,47	0,09		
8.	3	12,1	7,05	4,8	4,80	0,396	12,3	12,30	6,5	435,38	435,47	0,09	0,08	0,13
		12,05	7,01	4,8		0,388	12,3			435,38	435,47	0,09		
		12,03	7,16	4,8		0,395	12,3			435,38	435,45	0,07		
9.	3	12,17	7,51	5,1	5,10	0,42	12,2	12,20	7	435,38	435,43	0,05	0,06	0,09
		12,15	7,53	5,1		0,422	12,2			435,38	435,44	0,06		
		12,15	7,51	5,1		0,42	12,2			435,38	435,44	0,06		



Lampiran 1 B Data Pengujian Generator HHO *Dry Cell Type*

Data pengujian Generator HHO *Dry Cell Type* dengan Konsentrasi NaOH 5,4 %

No.	Waktu (menit)	Tegangan Baterai (V)	Arus Baterai (A)	Wh		Ah	Tegangan GHHO (V)		Arus GHHO (A)	Massa		Selisih Massa		Massa
										Awal	Akhir			
1.	3	13,53	4,57	3,2	3,17	0,267	13,1	12,80	4	435,75	435,85	0,1	0,12	0,18
		13,3	4,5	3,2		0,269	13,1			435,75	435,87	0,12		
		13,3	4,51	3,1		0,251	12,2			435,75	435,88	0,13		
2.	3	12,3	5,39	3,3	3,30	0,29	12,2	12,27	5,25	435,75	435,92	0,17	0,19	0,28
		12,59	5,44	3,3		0,293	12,3			435,75	435,94	0,19		
		12,31	5,59	3,3		0,295	12,3			435,75	435,95	0,2		
3.	3	12,4	6,32	3,4	3,50	0,31	12,3	12,33	6,3	435,75	435,98	0,23	0,25	0,38
		12,51	6,38	3,5		0,32	12,3			435,75	435,99	0,24		
		12,43	6,6	3,6		0,322	12,4			435,75	436,03	0,28		
4.	3	12,6	7,4	3,8	3,87	0,35	12,4	12,43	7,29	435,75	436,07	0,32	0,33	0,49
		12,68	7,4	3,8		0,353	12,4			435,75	436,07	0,32		
		12,61	7,38	4,0		0,357	12,5			435,75	436,09	0,34		

Data pengujian Generator HHO *Dry Cell Type* dengan Konsentrasi NaOH 6,2 %

No.	Waktu (menit)	Tegangan Baterai (V)	Arus Baterai (A)	Wh	Ah	Tegangan GHHO (V)		Arus GHHO (A)	Massa		Selisih Massa		Massa	
									Awal	Akhir				
1.	3	12,8	4,57	3,2	3,20	0,259	12,6	12,60	4,33	435,46	435,61	0,15	0,15	0,23
		12,75	4,55	3,2		0,253	12,6			435,46	435,61	0,15		
		12,8	4,5	3,2		0,253	12,6			435,46	435,62	0,16		
2.	3	12,54	5,95	3,3	3,33	0,331	12,2	12,20	5,1	435,46	435,65	0,19	0,20	0,30
		12,56	5,9	3,3		0,34	12,3			435,46	435,66	0,20		
		12,56	5,92	3,4		0,342	12,1			435,46	435,67	0,21		
3.	3	12,42	6,68	3,5	3,53	0,369	12,2	12,23	6,05	435,46	435,71	0,25	0,26	0,39
		12,42	6,71	3,6		0,372	12,3			435,46	435,73	0,27		
		12,42	6,73	3,5		0,375	12,2			435,46	435,72	0,26		
4.	3	12,45	7,75	4,0	3,97	0,4	12,4	12,43	7,04	435,46	435,8	0,34	0,36	0,54
		12,47	7,78	4,0		0,407	12,4			435,46	435,82	0,36		
		12,45	7,76	3,9		0,412	12,5			435,46	435,83	0,37		

Data pengujian Generator HHO *Dry Cell Type* dengan Konsentrasi NaOH 7 %

No.	Waktu (menit)	Tegangan Baterai (V)	Arus Baterai (A)	Wh	Ah	Tegangan GHHO (V)			Arus GHHO (A)	Massa		Selisih Massa		Massa
										Awal	Akhir			
1.	3	13,12	4,55	3,4	3,37	0,58	13,1	13,10	4	435,46	435,66	0,2	0,21	0,31
		12,82	4,61	3,4		0,26	13,1			435,46	435,67	0,21		
		12,75	4,56	3,3		0,239	13,1			435,46	435,67	0,21		
2.	3	12,54	5,95	3,5	3,43	0,331	12,2	12,20	5,46	435,46	435,68	0,22	0,24	0,36
		12,56	5,9	3,4		0,34	12,2			435,46	435,7	0,24		
		12,56	5,92	3,4		0,342	12,2			435,46	435,71	0,25		
3.	3	12,42	6,68	3,6	3,67	0,369	12,3	12,20	6,31	435,46	435,75	0,29	0,31	0,46
		12,42	6,71	3,7		0,372	12,1			435,46	435,77	0,31		
		12,42	6,73	3,7		0,375	12,2			435,46	435,78	0,32		
4.	3	12,45	7,75	4,0	4,20	0,4	12,3	12,30	7,35	435,46	435,84	0,38	0,40	0,61
		12,47	7,78	4,2		0,407	12,3			435,46	435,87	0,41		
		12,45	7,76	4,4		0,412	12,3			435,46	435,88	0,42		

Data pengujian Generator HHO *Dry Cell Type* dengan Konsentrasi NaOH 7,7 %

No.	Waktu (menit)	Tegangan Baterai (V)	Arus Baterai (A)	Wh	Ah	Tegangan GHHO (V)		Arus GHHO (A)	Massa		Selisih Massa		Massa	
						Awal	Akhir		Awal	Akhir				
1.	3	12,6	4,67	3,5	3,63	0,253	12,5	12,47	4	437,38	437,71	0,33	0,34	0,51
		12,7	4,57	3,6		0,241	12,5			437,38	437,72	0,34		
		12,7	4,57	3,8		0,266	12,4			437,38	437,73	0,35		
2.	3	12,89	5,75	4,1	4,10	0,39	12,4	12,43	5,19	437,38	437,75	0,37	0,39	0,59
		12,8	5,65	4,1		0,393	12,4			437,38	437,77	0,39		
		12,66	5,89	4,1		0,4	12,5			437,38	437,8	0,42		
3.	3	12,6	6,5	4,3	4,37	0,42	12,2	12,23	6,05	437,38	437,85	0,47	0,49	0,74
		12,57	6,55	4,4		0,425	12,3			437,38	437,88	0,5		
		12,47	6,55	4,4		0,43	12,2			437,38	437,89	0,51		
4.	3	12,78	7,44	4,7	4,80	0,45	12,1	12,10	7	437,38	437,94	0,56	0,58	0,87
		12,38	7,5	4,8		0,453	12,1			437,38	437,96	0,58		
		12,26	7,51	4,9		0,435	12,1			437,38	437,98	0,6		

Lampiran 1 C Data Pengujian Performa Genset Tanpa Penambahan Gas

HHO

Data Pengujian Performa Genset Tanpa Penambahan Gas HHO Beban 50

No.	Tegangan (V)	Arus (A)	Beban	Waktu (Menit)	Indikator	Total waktu (Menit)
1.	204	6,9	L ₂	0	100	71,13
2.	204	6,9	L ₂	29,14	75	
3.	204	6,9	L ₂	41,59	50	

Data Pengujian Performa Genset Tanpa Penambahan Gas HHO Beban 75

No.	Tegangan (V)	Arus (A)	Beban	Waktu (Menit)	Indikator	Total waktu (Menit)
1.	204	8,3	L ₂	0	100	62,11
2.	204	8,3	L ₂	26,07	75	
3.	204	8,3	L ₂	36,03	50	

Data Pengujian Performa Genset Tanpa Penambahan Gas HHO Beban 100

No.	Tegangan (V)	Arus (A)	Beban	Waktu (Menit)	Indikator	Total waktu (Menit)
1.	204	10,1	L ₂	0	100	49,33
2.	204	10,1	L ₂	14,41	75	
3.	204	10,1	L ₂	34,52	50	

Lampiran 1 D Data Pengujian Performa Genset dengan Penambahan Gas HHO

Data Pengujian Performa Genset dengan Penambahan Gas HHO Konsentrasi NaOH 7,7 % dengan Arus 4 A pada beban 50

No.	Tegangan (V)	Arus (A)	Beban	Waktu (Menit)	Indikator	Total waktu (Menit)
1.	207	6,9	L ₂	0	100	88,06
2.	207	6,9	L ₂	38,05	75	
3.	207	6,9	L ₂	50,01	50	

Data Pengujian Performa Genset dengan Penambahan Gas HHO pada Konsentrasi NaOH 7,7 % dengan Arus 5 A pada beban 50

No.	Tegangan (V)	Arus (A)	Beban	Waktu (Menit)	Indikator	Total waktu (Menit)
1.	207	6,9	L ₂	0	100	94,19
2.	207	6,9	L ₂	45	75	
3.	207	6,9	L ₂	49,19	50	

Data Pengujian Performa Genset dengan Penambahan Gas HHO pada Konsentrasi NaOH 7,7 % dengan Arus 6 A pada beban 50

No.	Tegangan (V)	Arus (A)	Beban	Waktu (Menit)	Indikator	Total waktu (Menit)
1.	207	6,9	L ₂	0	100	81,49
2.	207	6,9	L ₂	35,20	75	
3.	207	6,9	L ₂	46,29	50	

Data Pengujian Performa Genset dengan Penambahan Gas HHO pada
Konsentrasi NaOH 7,7 % dengan Arus 7 A pada beban 50

No.	Tegangan (V)	Arus (A)	Beban	Waktu (Menit)	Indikator	Total waktu (Menit)
1.	207	6,9	L ₂	0	100	83,36
2.	207	6,9	L ₂	35,52	75	
3.	207	6,9	L ₂	47,44	50	

Data Pengujian Performa Genset dengan Penambahan Gas HHO pada
Konsentrasi NaOH 7,7 % dengan Arus 4 A pada beban 75

No.	Tegangan (V)	Arus (A)	Beban	Waktu (Menit)	Indikator	Total waktu (Menit)
1.	207	8,3	L ₂	0	100	67,25
2.	207	8,3	L ₂	24,53	75	
3.	207	8,3	L ₂	37,32	50	

Data Pengujian Performa Genset dengan Penambahan Gas HHO pada
Konsentrasi NaOH 7,7 % dengan Arus 7 A pada beban 100

No.	Tegangan (V)	Arus (A)	Beban	Waktu (Menit)	Indikator	Total waktu (Menit)
1.	207	10,1	L ₂	0	100	53,59
2.	207	10,1	L ₂	17,53	75	
3.	207	10,1	L ₂	36,06	50	

LAMPIRAN 2

Lampiran 2 A Hasil Perhitungan Performa Generator HHO Wet Cell Type

Hasil Perhitungan Performa Generator HHO *Wet Cell Type* dengan

Konsentrasi NaOH 3,9 %

No.	Arus GHHO (A)	Daya GHHO (W)	Mass Flowrate (gr/s)	Efisiensi GHHO (%)
1.	3	38,4	0,00056	14,16
2.	3,5	44,1	0,00078	17,33
3.	4	50	0,00081	16,6
4.	4,5	55,65	0,00106	19,17
5.	5	61,5	0,00111	19,48
6.	5,5	67,1	0,00111	17,63
7.	6	73	0,00131	19,47
8.	6,5	78,22	0,00142	20,38
9.	7	85,53	0,00161	20,93

Hasil Perhitungan Performa Generator HHO *Wet Cell Type* dengan

Konsentrasi NaOH 4,6 %

No.	Arus GHHO (A)	Daya GHHO (W)	Mass Flowrate (gr/s)	Efisiensi GHHO (%)
1.	3	39,2	0,00064	17,02
2.	3,5	45,5	0,00083	19,60
3.	4	51,47	0,00094	18,55
4.	4,5	57,45	0,001	19,04
5.	5	63,5	0,00103	17,75
6.	5,5	69,3	0,00111	18,21
7.	6	75,2	0,00119	18,78
8.	6,5	79,3	0,00153	22,45
9.	7	84,23	0,00175	23,14

Hasil Perhitungan Performa Generator HHO *Wet Cell Type* dengan
Konsentrasi NaOH 5,4 %

No.	Arus GHHO (A)	Daya GHHO (W)	Mass Flowrate (gr/s)	Efisiensi GHHO (%)
1.	3	39,80	0,00083	21,64
2.	3,5	46,2	0,00133	29,61
3.	4	52,27	0,00189	35,65
4.	4,5	58,05	0,00236	43,3
5.	5	64,33	0,00253	43,56
6.	5,5	70,03	0,00272	42,52
7.	6	75	0,00311	42,9
8.	6,5	80,17	0,00342	44,64
9.	7	84,93	0,00397	48,18

Hasil Perhitungan Performa Generator HHO *Wet Cell Type* dengan
Konsentrasi NaOH 6,2 %

No.	Arus GHHO (A)	Daya GHHO (W)	Mass Flowrate (gr/s)	Efisiensi GHHO (%)
1.	3	40,1	0,00128	32,78
2.	3,5	45,97	0,00167	39,87
3.	4	51,73	0,00219	45,69
4.	4,5	57,15	0,00233	42,02
5.	5	62,67	0,00297	50,35
6.	5,5	68,2	0,00286	45,39
7.	6	73,4	0,00339	46,41
8.	6,5	78,22	0,00386	49,8
9.	7	84	0,00464	50,48

Hasil Perhitungan Performa Generator HHO *Wet Cell Type* dengan
Konsentrasi NaOH 7 %

No.	Arus GHHO (A)	Daya GHHO (W)	Mass Flowrate (gr/s)	Efisiensi GHHO (%)
1.	3	40,5	0,00125	31,22
2.	3,5	46,67	0,00167	37,02
3.	4	52,53	0,00225	44,54
4.	4,5	58,05	0,00267	48,88
5.	5	63,67	0,00311	52,71
6.	5,5	68,93	0,00356	55,11
7.	6	74,6	0,00467	64,34
8.	6,5	79,95	0,00483	63,55
9.	7	85,17	0,00503	63,25

Hasil Perhitungan Performa Generator HHO *Wet Cell Type* dengan
Konsentrasi NaOH 7,7 %

No.	Arus GHHO (A)	Daya GHHO (W)	Mass Flowrate (gr/s)	Efisiensi GHHO (%)
1.	3	41,1	0,00239	60,43
2.	3,5	47,48	0,00256	58,03
3.	4	52,93	0,00283	58,37
4.	4,5	57,75	0,00325	58,58
5.	5	63,33	0,00358	59,21
6.	5,5	69,3	0,00397	56,82
7.	6	74,8	0,00469	63,42
8.	6,5	80,17	0,00511	65,91
9.	7	85,4	0,00558	63,78

Hasil Perhitungan Performa Generator HHO *Wet Cell Type* dengan
Konsentrasi NaOH 9,2 %

No.	Arus GHHO (A)	Daya GHHO (W)	Mass Flowrate (gr/s)	Efisiensi GHHO (%)
1.	3	41,1	0,00197	51,22
2.	3,5	47,48	0,00219	51,63
3.	4	52,93	0,00264	54,94
4.	4,5	56,55	0,00314	58,09
5.	5	62,5	0,00375	63
6.	5,5	68,2	0,00431	68,3
7.	6	74,4	0,00072	11,46
8.	6,5	79,95	0,00069	9,64
9.	7	85,4	0,00047	6,17



Lampiran 2 B Hasil Perhitungan Performa Generator HHO *Dry Cell Type*

Hasil Perhitungan Performa Generator HHO *Dry Cell Type* dengan
Konsentrasi NaOH 5,4 %

No.	Arus GHHO (A)	Daya GHHO (W)	Mass Flowrate (gr/s)	Efisiensi GHHO (%)
1.	4	51,2	0,00097	20,49
2.	5,25	64,4	0,00156	31,41
3.	6,3	77,7	0,00208	39,61
4.	7,29	90,64	0,00272	46,9

Hasil Perhitungan Performa Generator HHO *Dry Cell Type* dengan
Konsentrasi NaOH 6,2 %

No.	Arus GHHO (A)	Daya GHHO (W)	Mass Flowrate (gr/s)	Efisiensi GHHO (%)
1.	4,33	54,56	0,00128	26,6
2.	5,1	62,22	0,00167	33,3
3.	6,05	74,01	0,00217	40,85
4.	7,04	87,53	0,00297	49,95

Hasil Perhitungan Performa Generator HHO *Dry Cell Type* dengan
Konsentrasi NaOH 7 %

No.	Arus GHHO (A)	Daya GHHO (W)	Mass Flowrate (gr/s)	Efisiensi GHHO (%)
1.	4	52,4	0,00172	34,1
2.	5,46	66,61	0,00197	38,31
3.	6,31	76,98	0,00256	46,42
4.	7,35	90,41	0,00336	53,32

Hasil Perhitungan Performa Generator HHO *Dry Cell Type* dengan
Konsentrasi NaOH 7,7 %

No.	Arus GHHO (A)	Daya GHHO (W)	Mass Flowrate (gr/s)	Efisiensi GHHO (%)
1.	4	49,87	0,00283	51,98
2.	5,19	64,53	0,00328	53,27
3.	6,05	74,01	0,00411	62,71
4.	7	84,7	0,00483	67,08



Lampiran 2 C Hasil Perhitungan Performa Genset Tanpa Penambahan Gas

HHO

Molaritas HHO (%)	Arus GHHO (A)	V_{bb} (L/s)	P_{in} (kW)	P_{out} (kW)	P_e (kW)	SFC (L/kWh)	Beban
-	-	0,00047	16,09	1,4	1,65	0,783	50
-	-	0,0054	18,67	1,7	1,99	0,756	75
-	-	0,00067	23,12	2,06	2,42	0,769	100

Lampiran 2 D Hasil Perhitungan Performa Genset dengan Penambahan Gas

HHO

Molaritas HHO (%)	Arus GHHO (A)	V_{bb} (L/s)	P_{in} (kW)	P_{out} (kW)	P_e (kW)	SFC (L/kWh)	Beban
7,7	4	0,00038	13,008	1,428	1,68	0,624	50
7,7	5	0,00035	12,151	1,428	1,68	0,583	50
7,7	6	0,00041	14,007	1,428	1,68	0,672	50
7,7	7	0,0004	13,709	1,428	1,68	0,658	50
7,7	4	0,0054	18,62	1,718	2,02	0,743	75
7,7	7	0,00062	21,229	2,09	2,46	0,696	100

LAMPIRAN 3

Foto Kegiatan



Proses Pemasangan Panel sebagai Sumber Energi DC



Proses Penimbangan Katalis (NaOH)



Proses Pelarutan antara Katalis dan Air Aquades



Proses Penambahan Larutan Elektrolit pada Elektroda Generator HHO



Proses Pemasangan Instalasi Kelistrikan dari PWM ke Generator HHO



Proses Pengambilan Data



Proses Penambahan Gas HHO Pada Genset