



**TUGAS AKHIR – SF 184801**

**OPTIMASI PRODUKSI GAS HHO DENGAN  
MENGUNAKAN KATALISATOR  
*POTASIMUM HIDROKSIDA* (KOH) PADA  
GENERATOR HHO TIPE *DRY CELL*  
SEBAGAI BAHAN BAKAR MESIN LAS**

**Yama Fanani Ramadhon  
NRP 0111154000060**

**Dosen Pembimbing :  
Drs. Bachtera Indarto, M.Si.  
Dr. rer. nat. Nasori, M.Si.**

**DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2020**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



**FINAL PROJECT – SF 184801**

**OPTIMIZATION OF HHO GAS  
PRODUCTION USING *POTASSIUM  
HYDROXIDE* (KOH) CATALYST IN HHO  
GENERATOR DRY CELL TYPE AS  
WELDING SYSTEM FUEL**

**Yama Fanani Ramadhon  
NRP 0111154000060**

**Advisor :  
Drs. Bachtera Indarto, M.Si.  
Dr. rer. nat. Nasori, M.Si.**

**DEPARTEMENT OF PHYSICS  
FACULTY OF SCIENCE AND DATA ANALYTICS  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2020**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LEMBAR PENGESAHAN

**Optimasi Produksi Gas HHO Dengan Menggunakan Katalisator *Potassium Hidroksida* (KOH) Pada Generator HHO Tipe *Dry Cell* Sebagai Bahan Bakar Mesin Las**

### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Sains pada

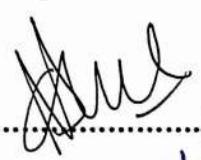
Bidang Studi Fisika Instrumentasi  
Program Studi S-1 Departemen Fisika  
Fakultas Sains dan Analitika Data  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

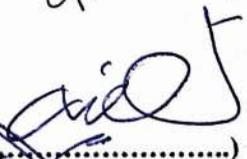
**YAMA FANANI RAMADHON**  
0111154000060

**Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:**

**Drs. Bachtera Indarto, M.Si.**  
NIP.19610404 199102 1 001

(.....)

**Dr. rer.nat. Nasori, M.Si.**  
NIK.1981201831048

(.....)



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**OPTIMASI PRODUKSI GAS HHO DENGAN  
MENGUNAKAN KATALISATOR *POTASIMUM  
HIDROKSIDA (KOH)* PADA GENERATOR HHO TIPE *DRY  
CELL* SEBAGAI BAHAN BAKAR MESIN LAS**

**Nama Mahasiswa** : Yama Fanani Ramadhon  
**NRP** : 0111154000060  
**Departemen** : Fisika, Fakultas Sains dan Analitika Data  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
**Dosen Pembimbing** : 1. Drs. Bachtera Indarto, M.Si.  
2. Dr. rer. nat. Nasori, M.Si.

**Abstrak**

Gas HHO adalah gas campuran dari hidrogen dan oksigen dengan rasio 2:1 merupakan gas yang mudah terbakar. Elektroda yang digunakan dari bahan *stainless steel* 304 dengan ketebalan 1 mm dan berjumlah 9 buah. Proses elektrolisis air menjadi prinsip kerja utama generator HHO. Untuk mempercepat proses elektrolisis air ditambahkan katalisator pada percobaan ini. Katalisator yang ditambahkan adalah KOH dengan molaritas 0,5 M; 0,75 M dan 1 M. Sumber tegangan yang digunakan adalah *power supply* DC 24 V 20 A dengan konfigurasi elektroda (+ -). Data yang diperoleh yaitu tekanan *output*, waktu produksi 500 ml gas dan suhu api keluaran. Setelah itu, dilakukan perhitungan debit gas HHO menggunakan data yang telah didapatkan dari pengukuran. Berdasarkan data yang telah diperoleh, katalisator KOH dengan molaritas 1 M menghasilkan gas paling optimal dengan tekanan maksimum 25087,93 mbar; debit 34,03 mL/s dan suhu api yang dihasilkan mencapai 629°C. Nyala api tersebut dapat melelehkan pakan las dan kawat alumunium.

***Kata Kunci:*** Gas HHO, Generator HHO, Katalisator

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **OPTIMIZATION OF HHO GAS PRODUCTION USING POTASSIUM HYDROXIDE (KOH) CATALYST IN HHO GENERATOR DRY CELL TYPE AS WELDING SYSTEM FUEL**

**Name** : Yama Fanani Ramadhon  
**NRP** : 0111154000060  
**Department** : Physics, Faculty of Sciences And Data Analytics,  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
**Advisors** : 1. Drs. Bachtera Indarto, M.Si.  
2. Dr. rer. nat. Nasori, M.Si.

## **Abstract**

HHO gas is a mixture of hydrogen and oxygen gas with a ratio of 2: 1 which is a flammable gas. The electrodes are used stainless steel 304 with a thickness of 1 mm and amount to 9 pieces. The water electrolysis process is the main working principle of the HHO generator. A catalyst was added to this experiment to speed up the process of electrolysis of water. The catalyst added was KOH with a molarity of 0.5 M; 0.75 M and 1 M. The voltage source used is a DC 24 V 20 A power supply with electrode configuration (+ -). The data obtained are from output pressure, 500 ml gas over time 15 second and temperature of fire. After that, the calculation of HHO gas discharge with the data has been obtained. Based on the data that has been obtained, the KOH catalyst with 1 M molarity produces the most optimal gas with a maximum pressure of 25087.93 mbar, a discharge of 34.03 mL/s and the resulting fire temperature reaches 629°C. The flame can melt welding feed and aluminum wire.

**Keywords:** *HHO Gass, HHO Generator, Catalyst*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya, serta tak lupa ucapan sholawat dan salam kepada Rasulullah Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Optimasi Produksi Gas HHO Dengan Menggunakan Katalisator *Potassium Hidroksida* (KOH) Pada Generator HHO Tipe *Dry Cell* Sebagai Bahan Bakar Mesin Las”**. laporan Tugas Akhir (TA) ini penulis susun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Departemen Fisika, Fakultas Sains, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas bantuan, dorongan, dan juga bimbingan dari berbagai pihak, penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan baik. Sehubungan dengan hal tersebut, maka penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Drs. Bachtera Indarto, M.Si. dan Dr. rer. Nat. Nasori, M.Si., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
2. Dr. Gatut Yudoyono, M.T., selaku ketua departemen Fisika ITS.
3. Bapak dan Ibu tercinta, serta segenap keluarga yang telah memberi semua hal terbaik bagi penulis.
4. Mas Ardy, Zulfa, Rega dan Syani yang telah berbagi ilmu dan pengalaman dalam mengerjakan generator HHO.
5. Teman-teman saya yang telah memberi dukungan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Dan semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Surabaya, 20 Januari 2020

Penulis

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>TITLE PAGE</b> .....	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>Abstrak</b> .....	<b>vii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xviii</b>
<b>BAB I</b> .....	<b>1</b>
<b>PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
<b>BAB II</b> .....	<b>5</b>
<b>TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Gas HHO ( <i>Hydrogen Hydrogen Oxide</i> ).....	5
2.2 Generator gas HHO ( <i>Hydrogen Hydrogen Oxyde</i> ).....	7
2.3 Elektrolisis Air.....	11
2.4 Elektrolit.....	13
2.5 Pengelasan.....	14
<b>BAB III</b> .....	<b>17</b>
<b>METODOLOGI</b> .....	<b>17</b>

3.1	Diagram Alir Penelitian .....	17
3.2	Alat dan Bahan.....	18
3.3	Pembuatan Alat .....	26
3.4	Pembuatan Sensor Tekanan dan Suhu .....	27
3.5	Pengambilan Data.....	28
<b>BAB IV .....</b>		<b>31</b>
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>31</b>
4.1	Analisis Hasil Penelitian .....	31
4.1.1	Pengaruh Molaritas Larutan KOH Terhadap Perubahan Tekanan Pada Pertambahan Waktu .....	31
4.1.2	Nilai <i>Flow Rate</i> Setiap Molaritas Larutan KOH.....	32
4.1.3	Perubahan Suhu Setiap Molaritas Larutan KOH.....	32
4.1.4	Effisiensi Setiap Molaritas Larutan KOH.....	33
4.2	Pembahasan .....	34
<b>BAB V.....</b>		<b>39</b>
<b>KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>		<b>39</b>
5.1	Kesimpulan .....	39
5.2	Saran .....	39
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>41</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>43</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>		<b>55</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Pemisahan molekul air murni menjadi gas HHO.....	5
<b>Gambar 2.2</b>	Generator HHO tipe basah ( <i>wet cell</i> ).....	8
<b>Gambar 2.3</b>	Generator HHO tipe kering ( <i>dry cell</i> ).....	9
<b>Gambar 2.4</b>	Elektrolisis air .....	11
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram alir penelitian.....	18
<b>Gambar 3.2</b>	Plat <i>stainless steel</i> 304 .....	19
<b>Gambar 3.3</b>	MPX5700DP .....	19
<b>Gambar 3.4</b>	Arduino UNO.....	19
<b>Gambar 3.5</b>	Thermokopel tipe K .....	20
<b>Gambar 3.6</b>	<i>PVC foam</i> .....	21
<b>Gambar 3.7</b>	<i>Power supply</i> .....	21
<b>Gambar 3.8</b>	Stang las .....	21
<b>Gambar 3.9</b>	Tabung reservoir .....	22
<b>Gambar 3.10</b>	Kompresor angin DC .....	23
<b>Gambar 3.11</b>	Gelas Beker.....	23
<b>Gambar 3.12</b>	Potassium hidroksida (KOH) .....	24
<b>Gambar 3.13</b>	Modul MAX6675.....	25
<b>Gambar 3.14</b>	Tabung Bubbler.....	25
<b>Gambar 3.15</b>	Ukuran plat <i>stainless steel</i> dan <i>PVC foam</i> .....	26
<b>Gambar 3.16</b>	Skema alat .....	27
<b>Gambar 3.17</b>	Rangkaian sensor tekanan dan suhu.....	28
<b>Gambar 3.18</b>	Skema pengambilan data <i>flow rate</i> .....	29
<b>Gambar 4.1</b>	Grafik perubahan tekanan setiap molaritas KOH ..	31
<b>Gambar 4.2</b>	Diagram <i>flow rate</i> setiap molaritas larutan KOH...	32
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik perubahan suhu setiap molaritas KOH .....	33
<b>Gambar 4.4</b>	Diagram efisiensi setiap molaritas larutan KOH ..	34

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Gas Hidrogen .....	6
Tabel 2.2 Sifat Daya Hantar Listrik dalam Larutan .....	14

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b> Data Percobaan.....	43
<b>Lampiran 2.</b> Perhitungan .....	45
<b>Lampiran 3.</b> <i>Coding</i> Pemrograman Sensor Tekanan dan Temperatur.....	47
<b>Lampiran 4.</b> Dokumentasi Penelitian .....	50

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Teknik pengelasan saat ini masih banyak menggunakan mesin las karbit dan mesin las listrik. Kedua mesin las tersebut menggunakan prinsip yang berbeda dalam melebur dan menyambung besi. Las karbit memiliki kelemahan pada keamanan dan pencemaran. Jika terjadi kegagalan sistem pada pemakaian las karbit, baik pada saluran bahan bakar ataupun penggunaan yang salah maka akan terjadi ledakan yang sangat besar. Hasil pembakaran  $C_2H_2$  dengan  $O_2$  pada las karbit dapat menimbulkan polusi udara yang serius bahkan dapat merusak jaringan pernafasan. Las listrik memiliki kelemahan pada konsumsi daya listrik yang sangat besar. Dibutuhkan suatu inovasi pada sistem mesin las untuk mengatasi kelemahan kedua mesin las tersebut.

Gas HHO dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar salah satunya pada mesin las. Mesin las berbahan bakar gas HHO dapat digunakan sebagai mesin las dengan minim resiko dan sedikit daya yang dibutuhkan. Produksi Gas HHO dapat dilakukan melalui proses elektrolisis air. Kelemahan mesin las saat ini dapat teratasi dengan menggunakan mesin las berbahan bakar gas HHO.

Elektrolisis merupakan proses kimia yang menguraikan senyawa kimia menjadi suatu molekul baru dengan bantuan arus listrik. Elektrolisis air yaitu menguraikan senyawa air menjadi gas hidrogen dan gas oksigen. Elektrolisis air termasuk dalam reaksi tidak spontan karena memerlukan bantuan energi lain untuk melakukannya. Elektrolisis air menjadi gas hidrogen dan gas oksigen pertama kali diperkenalkan oleh Yull Brown pada tahun 1974. Gas hidrogen dan gas oksigen dikenal dengan gas HHO (*Hydrogen Hydrogen Oxide*) atau *brown gas*. Gas HHO sangat mudah terbakar sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar. Alat yang digunakan untuk memproduksi gas HHO yaitu

*electrolizer* atau generator gas HHO. Proses elektrolisis air pada generator HHO hanya membutuhkan sedikit daya listrik dibandingkan dengan daya las listrik.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dibahas sebelumnya, penulis melakukan beberapa analisis kinerja dengan permasalahan yang ditemukan sebagai berikut :

1. Bagaimana cara membuat generator gas HHO tipe *dry cell* yang aman?
2. Berapa konsentrasi katalisator jenis KOH yang dibutuhkan agar sel elektrolisis dapat bekerja dengan optimal?
3. Berapa tekanan *output* dan debit gas HHO yang dihasilkan?
4. Berapa temperatur api yang dihasilkan oleh generator gas HHO?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut ini:

1. Membuat generator gas HHO tipe *dry cell* yang aman.
2. Mengetahui konsentrasi katalisator jenis KOH yang optimal untuk menghasilkan gas HHO.
3. Mengetahui tekanan *output* dan debit gas hidrogen yang dihasilkan.
4. Mengetahui temperatur api yang dihasilkan oleh generator gas HHO
5. Mengaplikasikan gas HHO sebagai bahan bakar mesin las.

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Generator yang digunakan adalah tipe *dry cell*
2. Bahan yang digunakan sebagai elektroda adalah *stainless steel 304*.
3. Katalisator yang digunakan yaitu KOH.

4. Tegangan dan arus sebesar 24 *volt* dan 20 *ampere*.
5. Konfigurasi elektroda yang digunakan adalah +-

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah dapat memberikan solusi alternatif untuk bahan bakar mesin las serta dapat menjadi referensi penelitian mengenai produksi gas HHO dengan generator gas HHO tipe *dry cell*.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan tugas akhir ini tersusun dalam lima bab yaitu Bab I pendahuluan berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah dan sistematika penulisan proposal tugas akhir. Bab II tinjauan pustaka berisi dasar teori yang digunakan pada tugas akhir. Bab III metodologi penelitian berisi tentang metode dan tahapan pengambilan data tugas akhir. Bab IV hasil penelitian dan pembahasan berisi tentang hasil data dan pengolahan data serta analisis data. Bab V kesimpulan dan saran.

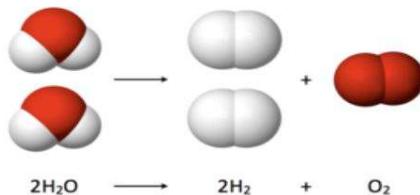
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Gas HHO (*Hydrogen Hydrogen Oxide*)

Air murni ( $H_2O$ ) merupakan sebuah senyawa kimia yang terdiri dari molekul hidrogen dan molekul oksigen. Air murni telah banyak dimanfaatkan oleh manusia baik dalam bidang industri maupun kesehatan. Salah satu pemanfaatan air murni yakni dengan menggunakan cara dielektrolis. Hasil dari proses elektrolisis air murni akan menghasilkan suatu gas yang disebut dengan gas HHO. Pemisahan molekul air murni menjadi gas HHO ditunjukkan pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Pemisahan molekul air murni menjadi gas HHO

Gambar 2.1 menunjukkan gas HHO tersusun atas molekul hidrogen dan molekul oksigen dengan perbandingan 2:1. Gas HHO pertama kali dikenalkan oleh seorang ilmuwan Australia yang berasal dari Bulgaria bernama Yull Brown. Karena hal tersebut, gas HHO juga dikenal dengan nama gas brown. Yull Brown pertama kali melakukan eksperimen berupa elektrolisis air murni dengan menggunakan sel elektrolisis tanpa membran pada tahun 1970. Setelah mendapatkan paten mengenai gas HHO, Yull Brown melakukan produksi massal generator gas HHO untuk bahan bakar automobile di Cina pada tahun 1996 (Maynard, 2003).

Hidrogen adalah unsur kimia yang memiliki nomor atom 1. Pada kondisi temperatur dan pencahayaan standar, gas hidrogen tidak berwarna, tidak berbau dan merupakan gas diatomik yang

sangat mudah terbakar. Hidrogen adalah gas yang mudah terbakar dan meledak dalam campuran dengan udara atau oksigen. Dari semua zat yang dikenal, Hidrogen adalah yang paling mudah terbakar. Namun gas HHO dalam kondisi normal tidak terbakar dengan sendirinya tanpa dinyalakan oleh api. Molekul hidrogen ini bertindak sebagai molekul bahan bakar dan oksigen yang membantu membakar bahan bakar. Tidak ada batasan secara teoritis untuk temperatur nyala api gas HHO karena lingkungan pembakaran akan menentukan tingkat tambahan energi kalor yang dilepaskan. Temperatur nyala api saat bersentuhan dengan udara sekitarnya yang diukur adalah 264°F hingga 269°F (129°C hingga 137°C). Ketika nyala api yang sama diaplikasikan pada permukaan bata bangunan biasa, suhu diukur pada 3100°F. Ketika nyala api diterapkan pada kawat tungsten suhu diukur pada hampir 6000°C. Ketika hidrogen dan oksigen normal terbakar, molekul diatomik dari H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> akan pecah dan rusak lalu melepaskan panas dengan kehilangan energi (Huber, 2004).

Persentase unsur hidrogen merupakan yang paling melimpah di alam semesta dengan kira-kira 75% dari total massa unsur di alam. Kebanyakan hidrogen ditemukan pada keadaan plasma dan atomik yang sifatnya berbeda dengan keadaan molekul. Beberapa sifat hidrogen seperti pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Sifat Gas Hidrogen (Oxtoby, 2001)

Parameter	Keterangan
Nomor atom	1
Massa atom	1,007825 g/mol
Titik lebur	-259,14°C
Titik didih	-252,87°C
Energi ionisasi	1311 kJ/mol
Warna	tidak berwarna
Bau	Tidak berbau
Isotop	3
Densitas	0,08988 g/cm <sup>3</sup> pada 293°K

Kapasitas Panas	14,304 J/g K
-----------------	--------------

Senyawa hidrogen biasanya dihasilkan oleh industri dari senyawa hidrokarbon seperti metana. Atom hidrogen adalah agen reduktif kuat, bahkan pada suhu kamar. Sifat reduktif tersebut menyebabkan korosi pada logam. Unsur hidrogen akan bereaksi dengan oksida dan klorida berbagai logam, seperti perak, tembaga, timbal, bismut dan merkuri, untuk menghasilkan logam bebas (Oxtoby, 2001).

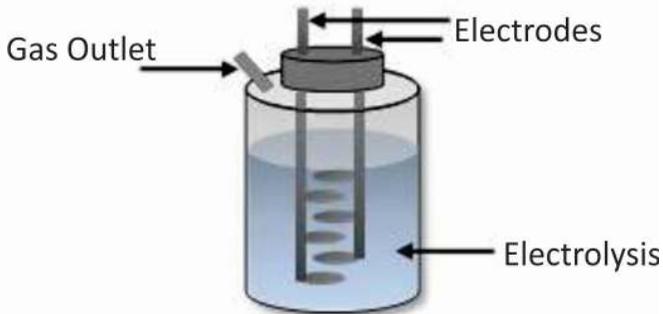
## 2.2 Generator gas HHO

Generator HHO sudah banyak dikembangkan dalam berbagai bidang industri contohnya sebagai penghemat konsumsi bahan bakar kendaraan bermotor. Teknologi HHO yang biasa dikenal dengan nama Teknologi Oxyhydrogen adalah sebuah teknologi yang dibuat menjadi teknologi open source yakni tanpa paten. Gas hidrogen ( $H_2$ ) dan oksigen ( $O_2$ ) dihasilkan dari proses elektrolisis air murni ( $H_2O$ ). Gas hidrogen ( $H_2$ ) yang sangat mudah terbakar jika disalurkan ke dalam ruang pembakaran akan mensuplai energi yang besar. Beberapa negara maju telah mengembangkan hidrogen sebagai energi terbarukan. Hidrogen bukanlah sumber energi (energy source) melainkan pembawa energi (energy carrier), artinya hidrogen tidak tersedia bebas dialam atau dapat ditambang layaknya sumber energi fosil (Suhanggoro, 2015).

Reaksi elektrolisis terjadi pada generator HHO akibat adanya arus listrik yang mengalir diantara plat besi. Reaksi elektrolisis tersebut menghasilkan gelembung-gelembung gas yakni berupa gas hidrogen dan oksigen. Generator gas HHO secara umum terdiri dari dua komponen dasar, tabung generator dan sumber daya (*power supply*). Tabung generator terdiri tabung, beberapa elektroda dan larutan elektrolit, sedangkan sumber daya bekerja seperti baterai. Proses pembuatan gas HHO, akan dapat menimbulkan korosi pada plat elektroda yang digunakan terutama pada plat anoda. Produksi gas oksigen terjadi pada plat anoda sehingga oksigen tersebut akan bereaksi dengan plat besi yang

digunakan. Hal tersebut dapat dihindari dengan cara menggunakan plat *stainless steel* yang berkualitas. Generator gas HHO diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu tipe basah (*wet cell*) dan tipe kering (*dry cell*). Perbedaan paling mencolok dari kedua tipe tersebut adalah konstruksi atau penempatan larutan elektrolit dan elektroda (Kumar, 2015).

Generator HHO tipe basah (*wet cell*), hampir seluruh elektroda terendam larutan elektrolit. Sebagian kecil elektroda tidak tercelup larutan elektrolit digunakan untuk saluran sumber arus listrik seperti pada Gambar 2.2.

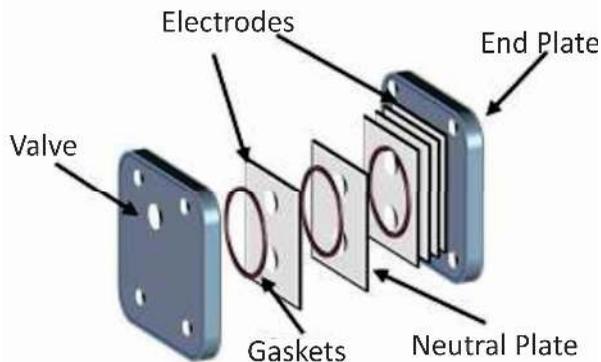


**Gambar 2.2** Generator HHO tipe basah (*wet cell*)

Gambar 2.2 menunjukkan bahwa tidak ada sirkulasi larutan elektrolit karena seluruh reaksi berada pada sistem tertutup sehingga ketika larutan elektrolit habis harus mengisi kembali melalui generator. Tidak adanya sirkulasi larutan elektrolit menyebabkan perpindahan panas pada sistem berlangsung dalam waktu lama. Karena hal tersebut panas dari sistem akan meningkat selama generator berjalan yang dapat menyebabkan terbentuknya uap air. Uap air akan bercampur dengan gas HHO dan akibatnya efisiensi sistem berkurang. Uap air yang terus diproduksi juga akan menyebabkan tekanan pada sistem meningkat dan jika terus meningkat sampai batas kemampuan penyimpanan generator, maka akan menimbulkan ledakan. Gas

HHO yang dihasilkan akan langsung menuju tabung *bubbler* kemudian keluar dan dapat digunakan. Kelebihan dari generator tipe basah adalah pada kecepatan produksi HHO. Karena total luas permukaan plat yang terendam dan mengenai larutan elektrolisis besar, maka reaksi elektrolisis yang terjadi juga lebih banyak. Namun hal tersebut hanya didapatkan pada kondisi awal ketika generator masih dalam keadaan dingin (Silva, 2015).

Generator HHO tipe kering (*dry cell*), hanya sebagian elektroda yang terendam larutan elektrolit. Pada celah antara plat diberi pembatas agar larutan elektrolit tidak keluar seperti pada Gambar 2.3



**Gambar 2.3** Generator HHO tipe kering (*dry cell*)

Gambar 2.3 menunjukkan pembatasan antar plat elektroda digunakan sebuah gasket. Larutan elektrolit disimpan dalam sebuah tangki yang terhubung ke generator melalui *valve*. Larutan elektrolit tersebut akan bersirkulasi dari tangki penyimpanan menuju ke generator secara terus menerus selama sistem beroperasi. Gas HHO yang dihasilkan akan menimbulkan tekanan dan mendorong sebagian larutan elektrolit keluar menuju tangki penyimpanan dan larutan elektrolit pada tangki penyimpanan menggantikannya. Aliran larutan elektrolit tersebut menyebabkan sirkulasi panas dalam generator menjadi lancar. Panas dari proses

elektrolisis akan dibawa keluar generator oleh larutan elektrolit tersebut. Gas HHO yang dihasilkan juga mengalir ke tangki penyimpanan kemudian menuju tabung *bubbler*. Kelemahan dari generator tipe ini adalah pada produksi gas HHO yang lebih sedikit dibandingkan dengan tipe basah. Hal tersebut dikarenakan luas permukaan plat yang terendam dan mengenai larutan elektrolit lebih sedikit sehingga reaksi elektrolisis yang terjadi juga sedikit (Silva, 2015).

Energi yang digunakan untuk elektrolisis air pada generator sangat mempengaruhi laju jari elektrolisis tersebut. Semakin baik kualitas dari generator maka akan semakin baik laju produksi gas HHO. Untuk mengetahui kualitas dari generator HHO perlu dilakukan perhitungan efisiensi. Efisiensi dapat dicari dengan membandingkan energi masukan dengan energi yang digunakan untuk elektrolisis, seperti persamaan (1)

$$\eta = \frac{\Delta hf \times \dot{n}}{V \times i} \times 100\% \quad (1)$$

$\eta$  adalah efisiensi,  $\Delta hf$  adalah energi elektrolisis air (282,8 kJ/mol) menurut [nshs-science.net\\_chemistry\\_common](http://nshs-science.net_chemistry_common),  $\dot{n}$  adalah jumlah molekul HHO,  $v$  adalah tegangan listrik dan  $i$  adalah arus listrik. Untuk mendapatkan jumlah molekul HHO yang terproduksi digunakan persamaan (2)

$$\dot{n} = \frac{P \times Q}{R \times T} \quad (2)$$

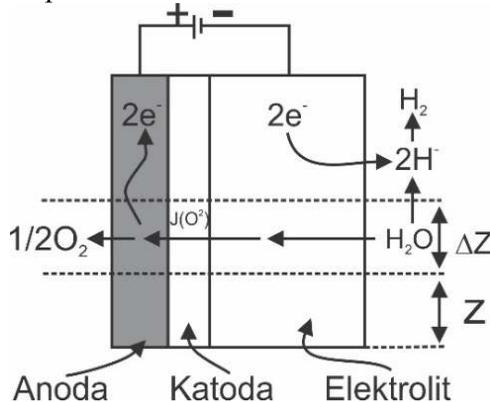
$P$  adalah tekanan udara normal (1 atm),  $Q$  adalah debit gas HHO yang terproduksi,  $R$  adalah konstanta gas ideal (0,0820574587 l.atm/K.mol),  $T$  adalah temperatur gas HHO yang terproduksi. Debit gas HHO didapat melalui pengukuran volume keluaran produksi gas HHO kemudian digunakan persamaan seperti (3)

$$Q = \frac{V}{t} \quad (3)$$

V adalah volume keluaran produksi gas HHO dan t adalah waktu yang diperlukan untuk mencapai volume tersebut (Abe, 1998).

### 2.3 Elektrolisis Air

Elektrolisis air adalah teknik yang memanfaatkan arus listrik searah (dc) untuk membagi air menjadi proton, elektron, dan oksigen berbentuk gas di anoda (elektroda positif) dan hidrogen di katoda (elektroda negatif) dalam suatu alat sel elektrolisis. Sel elektrolisis sederhana terdiri dari dua buah elektroda. Elektroda bermanfaat sebagai konduktor arus listrik dari sumber tegangan listrik. Perubahan kimia yang terjadi selama elektrolisis dapat dilihat disekitar elektroda. Proses ini dapat berlangsung ketika dua buah elektroda ditempatkan dalam air dan arus searah dilewatkan diantara dua elektroda tersebut. Ketika listrik dc disuplai melalui air, ia memisahkan molekul hidrogen dan oksigen seperti pada Gambar 2.4.

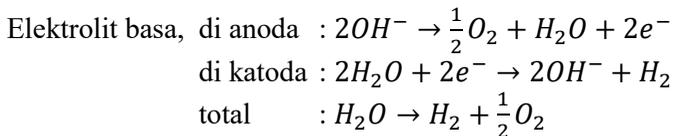
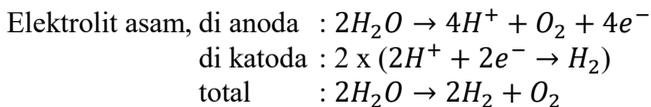


**Gambar 2.4** Elektrolisis air

Gambar 2.4. menunjukkan bahwa arus listrik negatif mengisi katoda yang menyebabkan terjadinya reaksi elektrolisis. Dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron, kemudian tereduksi menjadi gas  $H_2$  dan ion hidroksida ( $OH^-$ ). Selama ini elektrolisis air dikenal sebagai proses produksi Hidrogen dari air

yang paling efektif dengan tingkat kemurnian tinggi, tapi terbatas untuk skal kecil (Chang, 2010).

Agar Proses elektrolisis dapat terjadi dengan cepat, air dapat dicampur dengan elektrolit cair sebagai katalis. Dengan melarutkan jumlah elektrolit dalam air akan meningkatkan nilai konduktivitas listrik air. Dengan demikian, laju reaksi untuk menguraikan molekul air ( $H_2O$ ) menjadi  $H_2$  dan  $O_2$  menjadi lebih cepat dan juga dapat mengurangi energi yang dibutuhkan untuk proses elektrolisis. Namun, jika elektrolit terlarut terlalu banyak ke dalam air, energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan gas HHO juga akan meningkat karena larutan elektrolit jenuh sehingga pergerakan ion dalam elektrolit terhambat. Larutan elektrolit yang digunakan ada dua yaitu elektrolit asam dan elektrolit basa. Reaksi akibat elektrolisis dari kedua jenis elektrolit berbeda seperti berikut:



Elektrolisis menggunakan alkali lebih diminati di pabrik industri karena korosi lebih mudah dikendalikan dan bahan konstruksi yang lebih murah dibandingkan dengan teknologi elektrolisis asam. Larutan alkali yang biasa digunakan adalah *potassium hidriksida* (KOH) atau *natrium hidriksida* (NaOH). Menggunakan larutan alkali juga dapat mempercepat produksi gas HHO (Schalenbach, 2018).

## 2.4 Elektrolit

Larutan elektrolit berfungsi sebagai katalis pada proses elektrolisis air. Elektrolit adalah suatu zat yang terlarut atau terurai ke dalam bentuk ion-ion, ion-ion merupakan atom-atom bermuatan elektrik. Elektrolit dapat berperan sebagai konduktor listrik, karena ion bergerak dengan membawa muatan listrik. Jika elektrolit dilarutkan dalam air, konduktifitas listrik air tersebut akan meningkat. Elektrolit umumnya berupa air, asam, basa atau berupa senyawa kimia lainnya. Beberapa gas tertentu dapat berfungsi sebagai elektrolit pada kondisi tertentu misalnya pada suhu tinggi atau tekanan rendah. Elektrolit merupakan senyawa yang berikatan ion dan kovalen polar. Sebagian besar senyawa yang berikatan ion merupakan elektrolit sebagai contoh ikatan ion  $\text{NaHCO}_3$ . Senyawa ini termasuk kelompok garam dan sudah digunakan sejak lama.  $\text{NaHCO}_3$  dapat menjadi elektrolit dalam bentuk larutan dan lelehan. atau bentuk liquid dan aqueous. sedangkan dalam bentuk solid atau padatan senyawa ion tidak dapat berfungsi sebagai elektrolit (Marlina, 2013).

Gagasan atau ide lahirnya larutan elektrolit berasal dari percobaan Svante August Arrhenius (1859-1927), seorang ilmuwan asal Swedia. Menurut Arrhenius, zat elektrolit dalam larutannya akan terurai menjadi partikel-partikel yang berupa atom atau gugus atom yang bermuatan listrik yang dinamakan ion. Ion-ion zat elektrolit tersebut selalu bergerak bebas dan ion-ion inilah yang sebenarnya menghantarkan arus listrik melalui larutannya. Oleh sebab itu, Menurut Arrhenius, larutan elektrolit dan non elektrolit juga didasarkan pada keberadaan ion dalam larutan yang akan menghantarkan arus listrik. Apabila dalam larutan terdapat ion, larutan tersebut bersifat elektrolit. Sedangkan jika larutan tersebut tidak terdapat ion larutan tersebut bersifat non elektrolit. Sehingga Arrhenius menyimpulkan bahwa larutan elektrolit adalah larutan yang dapat menghantarkan arus listrik. Sedangkan larutan non elektrolit adalah larutan yang tidak dapat menghantarkan arus listrik (Justiana, 2002).

Berdasarkan sifatnya dalam menghantarkan listrik, larutan

dibagi menjadi tiga jenis yakni elektrolit kuat, elektrolit lemah dan non elektrolit. Sifat dari ketiga jenis larutan tersebut berbeda seperti ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Sifat Daya Hantar Listrik dalam Larutan

<b>Jenis Larutan</b>	<b>Elektrolit Kuat</b>	<b>Elektrolit Lemah</b>	<b>Non Elektrolit</b>
<b>Sifat Larutan</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Terionisasi sempurna</li> <li>- Molaritas besar</li> <li>- Penghantar listrik dengan baik</li> <li>- Jumlah ion banyak</li> <li>- Banyak gelembung saat reaksi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Terionisasi sebagian</li> <li>- Molaritas kecil</li> <li>- Penghantar listrik kurang baik</li> <li>- Jumlah ion sedikit</li> <li>- Sedikit gelembung saat reaksi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tidak terionisasi</li> <li>- Molaritas kecil</li> <li>- Penghantar listrik tidak baik</li> <li>- Jumlah ion sangat sedikit</li> <li>- Tidak ada gelembung saat reaksi</li> </ul>

Tabel 2.2 menunjukkan bahwa elektrolit kuat dapat menghantarkan listrik lebih baik dibandingkan dengan elektrolit lemah dan non elektrolit. Karena hal itu, dapat dikatakan bahwa semakin kuat larutan elektrolit maka semakin tinggi konduktivitas listriknya (Justiana, 2002).

## 2.5 Pengelasan

Pengelasan dikenal sebagai istilah dalam menyambungkan dua logam atau lebih dengan cara dibakar. Umumnya, proses pengelasan juga ditambahkan dengan bahan penyambung seperti kawat atau batang las. Ketika semua logam yang disatukan

dinggin, maka terjadilah sambungan. Ketika permukaan logam menjadi aktif, dengan kata lain ketika permukaan benar-benar bersih dan dalam kondisi energi potensialnya tinggi, jika atom dari salah satu logam berisikan sekitar ratusan juta atom tiap centimeter demikian juga dengan atom dari logam yang lainnya, atom-atom dari salah satu logam secara alami menyatu/menyampur dengan atom-atom dari logam lainnya. Permukaan dari kedua logam ini sama dengan permukaan dari patahan/retakan logam dalam kondisi mendekati hampa/vakum. Jika permukaan-permukaan tersebut didekatkan satu sama lain sampai bersentuhan, kedua logam tersebut bisa tersambung karena tarik-menarik antara atom-atomnya, Hal tersebut adalah prinsip dasar dari pengelasan. Pengelasan mulai dikenal pada awal abad ke 20. Sebagai sumber panas digunakan api yang berasal dari pembakaran gas acetylena yang kemudian dikenal sebagai las karbit. Waktu itu sudah dikembangkan las listrik namun masih sangat langka (Jeffus, 2004).

Teknik pengelasan saat ini diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan cara kerjanya yakni pengelasan cair, pengelasan tekan dan pematrian. Pengelasan cair adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau sumber api gas yang terbakar. Contoh pengelasan cair antara lain las gas, las listrik termis dan las busur plasma. Pengelasan tekan adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu. Contoh pengelasan tekan antara lain las resistensi listrik, las titik dan las induksi. Pematrian adalah pengelasan dengan cara sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah, dalam hal ini logam induk tidak mencair. Pada proses pengelasan terjadi beberapa problem yang disebabkan oleh panas dari material yang disambung, problem tersebut antara lain :

1. Terjadinya perubahan kualitas pada material yang disambung.
2. Terjadi regangan dan tegangan sisa
3. Dapat menimbulkan cacat pada pengoperasiannya

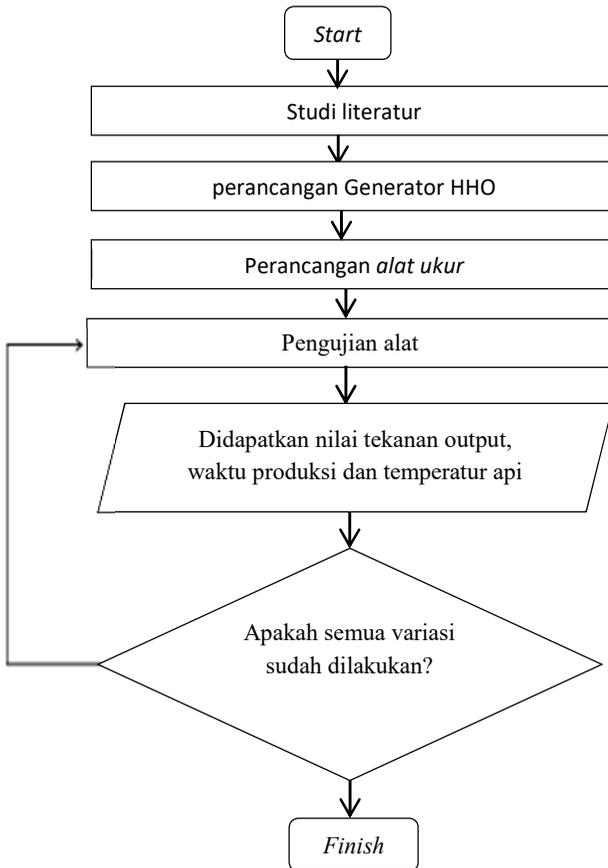
Problem-problem ini dapat menimbulkan cacat atau merusak konstruksi pengelasan. Pengelasan sangat dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari, sehingga untuk menjamin kualitas pengelasan, problem-problem tersebut harus dapat diatasi. Kelebihan dari pengelasan dibandingkan dengan teknik penyambungan lainnya antara lain bentuk geometri yang sederhana dari bagian yang disambung memungkinkan penurunan biaya dan berat material, tidak ada batasan ketebalan logam utama, tingkat kekedapan lebih sempurna dan fasilitas produksi lebih murah. Logam memiliki titik lebur yang berbeda-beda. Logam yang biasa digunakan untuk pakan las adalah alumunium karena kuat dan mudah melebur. Alumunium memiliki titik lebur 660°C. (Bintoro, 2000).

# BAB III

## METODOLOGI

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa langkah seperti



pada diagram alir Gambar 3.1.

### Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

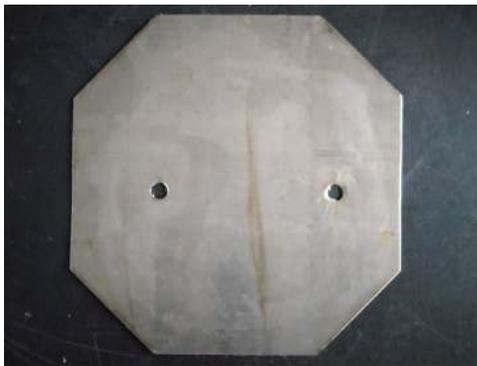
Gambar 3.1 menunjukkan diagram alir dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Studi literatur yaitu mencari bahan materi yang dibutuhkan pada penelitian ini, Literatur didapatkan dari buku, artikel, dan jurnal.
2. Semua alat dirancang berdasarkan literatur yang didapat.
3. Alat diuji apakah sudah bekerja dengan baik.
4. Data yang diukur adalah tekanan *output* waktu produksi dan temperatur api.
5. Variasi yang digunakan adalah konsentrasi pada katalisator KOH

### 3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan generator gas HHO adalah sebagai berikut ini.

1. Plat *Stainless Steel* 304  
*Stainless Steel* 304 adalah salah satu logam yang tahan korosi yang digunakan sebagai elektroda netral dan elektroda kutub pada generator gas HHO seperti Gambar 3.2.



**Gambar 3.2** Plat *stainless steel* 304

Gambar 3.2 menunjukkan plat *stainless steel* dipotong menjadi segi delapan dengan dimensi 20x20cm. Jumlah plat yang digunakan sebanyak 9. Dua buah plat kutub dan tujuh buah plat netral.

2. MPX5700DP

MPX5700DP digunakan sebagai sensor tekanan gas HHO yang dihasilkan oleh generator seperti Gambar 3.3.



**Gambar 3.3** MPX5700DP

Gambar 3.3 menunjukkan MPX5700DP. MPX5700DP dapat mendeteksi tekanan 0 bar hingga 700 bar dengan akurasi  $\pm 0.76$  bar.

3. Arduino UNO

Arduino UNO adalah perangkat elektronik yang tergolong sebagai mikrokontroler seperti pada Gambar 3.4.



**Gambar 3.4** Arduino UNO

Gambar 3.4 menunjukkan Arduino UNO yang berperan sebagai mikrokontroller pada rangkain sensor tekanan dan sensor suhu.

4. Thermokopel tipe K

Thermokopel tipe K digunakan sebagai sensor suhu seperti Gambar 3.5.

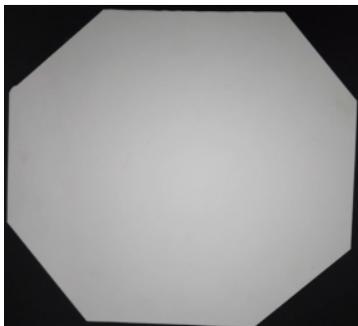


**Gambar 3.5** Thermokopel tipe K

Gambar 3.5 menunjukkan komponen Thermokopel tipe K yang berfungsi untuk mengukur suhu api gas HHO.

5. Polivinil klorida *foam*

Polivinil klorida (PVC) *foam* merupakan polimer termoplastik bersifat elastik, fleksibel, dan tahan panas seperti Gambar 3.6.



**Gambar 3.6** *PVC foam*

Gambar 3.6 menunjukkan *PVC foam* yang digunakan pembatas pada celah antar plat agar larutan tidak bocor.

6. *Power Supply*

*Power Supply* merupakan sumber tegangan berupa arus DC seperti Gambar 3.7.



**Gambar 3.7** *Power supply*

Gambar 3.7 menunjukkan *power supply* yang digunakan sebagai pensuplai tegangan 24V dan arus sebesar 20A.

7. Stang las

Stang las merupakan sarana pengeluaran gas HHO seperti Gambar 3.8.



**Gambar 3.8** Stang las

Gambar 3.8 menunjukkan stang las yang memiliki dua lubang saluran, satu saluran gas HHO dari generator dan udara dari kompresor.

8. Tabung Reservoir

Tabung reservoir merupakan wadah larutan elektrolit seperti pada Gambar 3.9.



**Gambar 3.9** Tabung reservoir

Gambar 3.9 menunjukkan tabung reservoir yang memiliki tiga lubang. Lubang bawah mengalirkan larutan elektrolit menuju generator. Lubang atas ada dua, pertama untuk mengalirkan gas dari generator sedangkan yang kedua mengalirkan gas menuju tabung *bubler*.

9. Kompresor angin DC

Kompresor angin dengan sumber DC 12 volt seperti Gambar 3.10.



**Gambar 3.10** Kompresor angin DC

Gambar 3.10 menunjukkan Kompresor angin DC yang digunakan untuk mensuplai angin menutu stang las kemudian berfungsi untuk mematikan api yang disebabkan gas HHO.

#### 10. Gelas Beaker

Gelas Beaker dengan kapasitas maksimum 500 ml dan konsentrasi pengukuran  $\pm 50$  ml seperti Gambar 3.11.



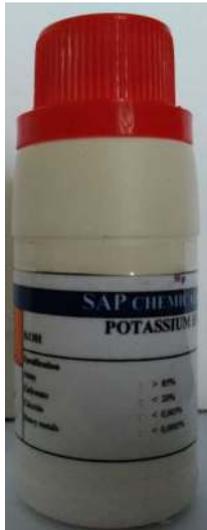
**Gambar 3.11** Gelas Beaker

Gambar 3.11 menunjukkan Gelas Beker berfungsi sebagai

pengukur larutan elektrolit yang akan digunakan dan digunakan untuk mengukur *flow rate* gas HHO yang dihasilkan generator secara manual.

#### 11. Potassium Hidroksida

Potassium hidroksida memiliki rumus kimia KOH (SAP Chemicals) seperti Gambar 3.12.



**Gambar 3.12** Potassium hidroksida (KOH)

Gambar 3.12 menunjukkan KOH yang berfungsi sebagai katalisator untuk mempercepat laju elektrolisis air pada generator HHO.

#### 12. Modul MAX6675

Modul MAX6675 dengan konfigurasi tiga pin digital seperti Gambar 3.13.



**Gambar 3.13** Modul MAX6675

Gambar 3.13 menunjukkan Modul MAX6675 berfungsi sebagai pembaca tegangan yang dikeluarkan thermokopel dan kemudian di salurkan ke arduino untuk dibaca.

13. Tabung *Bubbler*

tabung *bubbler* dengan ukuran 9x23 cm seperti Gambar 3.14.



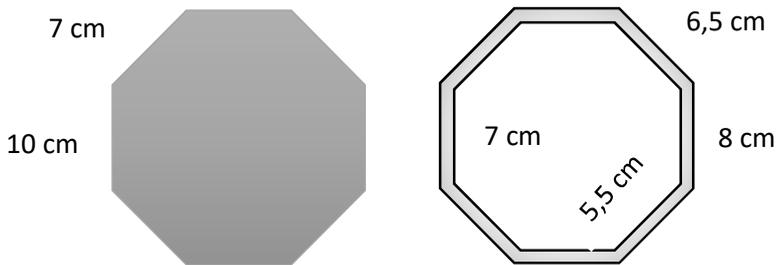
**Gambar 3.14** Tabung *Bubbler*

Gambar 3.14 menunjukkan tabung *bubbler* dengan tiga lubang sebagai saluran gas HHO dari tabung reservoir

menuju stang las, dengan fungsi utama sebagai indikator gas dan pengaman. Selain itu tabung *bubbler* juga berfungsi sebagai saluran gas HHO menuju sensor MPX5700DP.

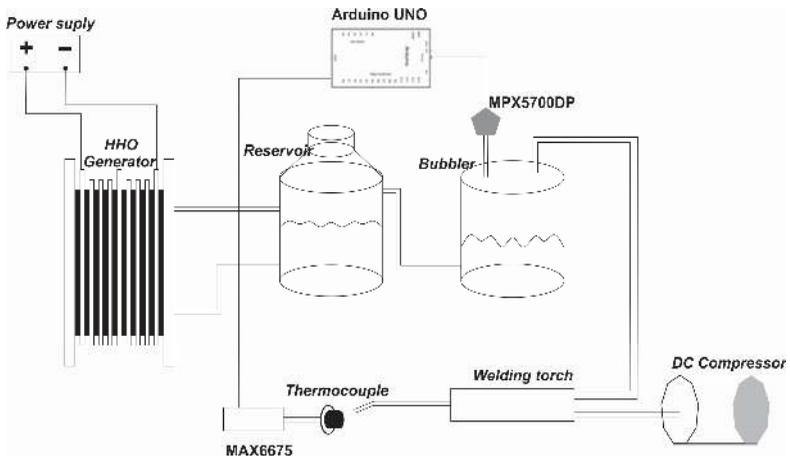
### 3.3 Pembuatan Alat

Alat yang pertama dibuat adalah generator HHO. Plat *stainless steel* dipotong seperti pada Gambar 3.2 dengan ukuran sisi 10 cm dan sisi miring 7 cm. *PVC foam* dipotong seperti Gambar 3.6 dengan ukuran sisi 8 cm dan sisi miring 6.5 cm dengan ketebalan sisi 1 cm seperti pada Gambar 3.15.



**Gambar 3.15** Ukuran plat *stainless steel* dan *PVC foam*

Gambar 3.15 menunjukkan plat *stainless steel*, *PVC foam* dan akrilik yang sudah di potong disusun secara berurutan seperti pada Gambar 3.16. Setelah generator jadi, keseluruhan alat dan bahan dirancang seperti Gambar 3.16. Pada Gambar 3.16 *power supply* dihubungkan ke generator HHO dengan konfigurasi elektroda (+ -).

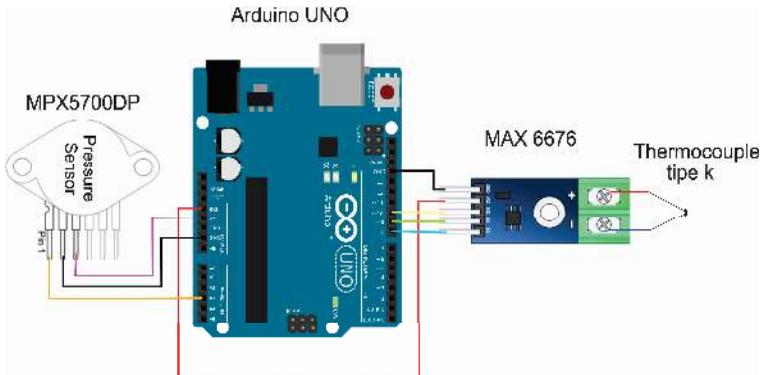


**Gambar 3.16** Skema alat

Gambar 3.16 menunjukkan Generator dan tabung reservoir dihubungkan dengan dua selang. Air dari tabung reservoir dialirkan ke generator melalui selang bawah sedangkan gas HHO dikeluarkan dari generator ke tabung reservoir melalui selang atas. Setelah itu gas HHO dimasukkan ke tabung *bubler* yang dipasangi sensor tekanan MPX5700DP. Nilai tekanan akan dimunculkan pada ms. Excel dilaptop dengan aplikasi PLX-DAQ. Selanjutnya gas dialirkan menuju lubang masukan stang las. Lubang masukan lain disambungkan ke kompresor DC. Setelah semua komponen sudah terhubung, maka *power supply* dihidupkan. Gas HHO dikeluarkan melalui ujung stang las. Gas HHO tersebut dibakar dengan korek api. Api yang keluar di ukur suhunya dengan termokopel dan modul MAX6675.

### 3.4 Pembuatan Sensor Tekanan dan Suhu

Tekanan gas HHO yang dihasilkan oleh generator HHO diukur dengan sensor tekanan MPX5700DP, sedangkan suhu api yang keluar dari stang las diukur dengan sensor suhu termokopel tipe k. Rangkaian sensor tekanan dan suhu dibuat seperti Gambar 3.17.

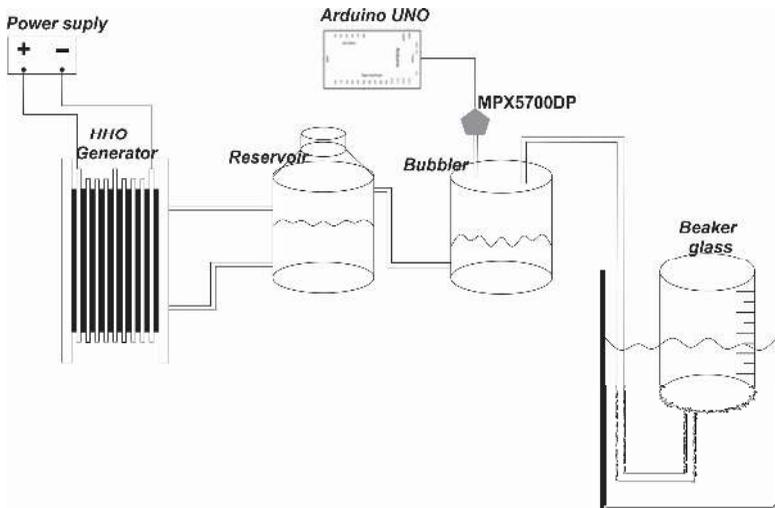


**Gambar 3.17** Rangkaian sensor tekanan dan suhu

Gambar 3.17 menunjukkan rangkaian sensor tekanan dan suhu yang digunakan pada percobaan ini. Sensor tekanan MPX5700DP dihubungkan ke arduino uno, pin 1 disambungkan ke pin A0, pin 2 disambungkan ke pin gnd dan pin 3 disambungkan ke pin 5v. Sensor suhu termokopel dihubungkan ke modul MAX6675, kemudian modul MAX6675 dihubungkan ke arduino. Pin ground disambungkan ke pin gnd, pin vcc disambungkan ke pin 3,3v, pin SO disambungkan ke pin 8, pin CS disambungkan ke pin 9 dan pin SCK disambungkan ke pin 10. Arduino uno dihubungkan ke laptop. Seluruh pembacaan akan direkam dan disimpan di ms.excel dengan aplikasi PLX-DAQ.

### 3.5 Pengambilan Data

Skema alat pengambilan data *flow rate* gas HHO dirangkai seperti Gambar 3.18.



**Gambar 3.18** Skema pengambilan data *flow rate*

Pada Gambar 3.18 selang keluaran akhir dilepas dari stang las dan dimasukkan ke bak air. Gelas beker diposisikan terbalik dalam bak dengan kondisi penuh air. Gas HHO yang diproduksi akan mengisi gelas beaker yang dipenuhi air. Waktu dicatat ketika volume 500 ml dicapai. Sebanyak sepuluh kali pengulangan dilakukan dengan tujuan akurasi dan presisi data.

Pengambilan data tekanan dan suhu dilakukan dengan skema alat pada Gambar 3.16. tekanan gas HHO akan diukur oleh sensor tekanan MPX5700DP yang dipasang pada tagung *bubbler*. *Valve* pada stang las ditutup agar gas HHO tidak keluar. Tekanan pada tabung *bubbler* akan terus naik, kenaikan tekanan diakibatkan produksi gas HHO terus menerus. Data tekanan diambil sampai generator HHO bocor. Suhu api yang dikeluarkan stang las diukur oleh termokopel tipe k yang disambungkan ke modul MAX6675. *Valve* pada stang las dibuka penuh dan gas HHO di bakar dengan korek api. Kemudian api tersebut didekatkan ke termokopel tipe k dan suhu api akan diukur. Setelah api selesai digunakan, maka akan dipadamkan dengan sistem yang *savety*. Kompresor DC yang telah disambungkan ke lubang las lain, dinyalakan. Lalu

*valve* lain pada stang las dibuka sehingga angin yang diproduksi oleh kompresor dapat dialirkan. Api akan didorong oleh angin bertekanan tinggi tersebut dan akan mati.

## BAB IV

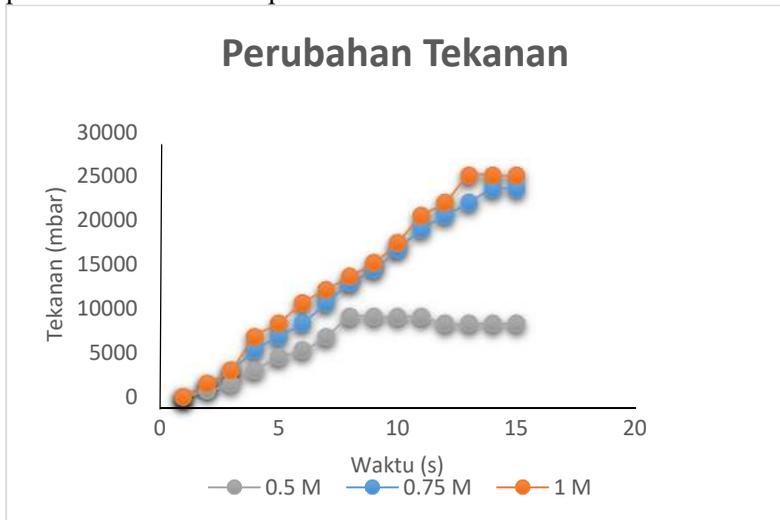
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisis Hasil Penelitian

Data yang didapat pada penelitian ini berupa tekanan, *flow rate*, dan suhu api keluaran pada masing-masing variasi molaritas KOH. Molaritas KOH yang digunakan yakni 0,5 M, 0,75 M dan 1M.

##### 4.1.1 Pengaruh Molaritas Larutan KOH Terhadap Perubahan Tekanan Pada Pertambahan Waktu

Data tekanan setiap molaritas larutan KOH berubah setiap pertambahan waktu seperti Gambar 4.1.



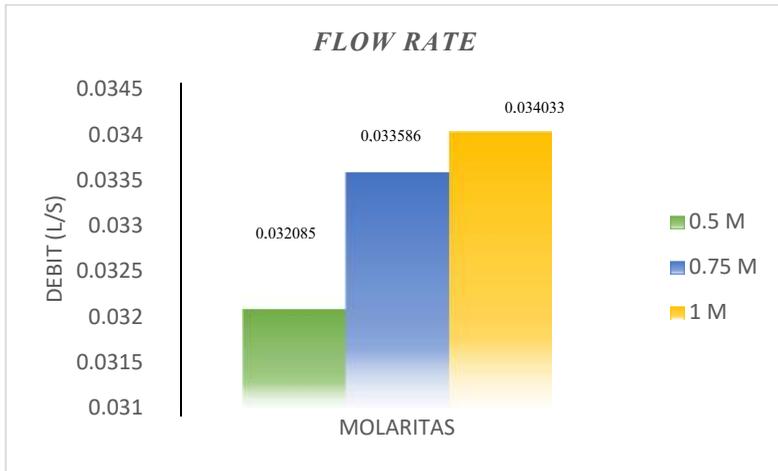
**Gambar 4.1** Grafik perubahan tekanan setiap molaritas KOH

Gambar 4.1 menunjukkan grafik antara tekanan dan waktu setiap molaritas larutan KOH. Garis berwarna abu-abu menunjukkan grafik molaritas 0,5 M, garis berwarna biru menunjukkan grafik molaritas 0,75 M, dan garis berwarna oranye menunjukkan grafik

molaritas 1 M. Data diambil sampai dengan generator bocor ditandai dengan tidak adanya peningkatan tekanan.

#### 4.1.2 Nilai *Flow Rate* Setiap Molaritas Larutan KOH

Data nilai *flow rate* setiap molaritas larutan KOH seperti Gambar 4.2.



**Gambar 4.2** Diagram *flow rate* setiap molaritas larutan KOH

Gambar 4.2 menunjukkan diagram *flow rate* setiap molaritas larutan KOH. Larutan dengan molaritas 1 M menghasilkan gas HHO paling banyak. Semakin tinggi nilai molaritas larutan KOH yang digunakan maka semakin tinggi nilai *flow rate* yang dihasilkan.

#### 4.1.3 Perubahan Suhu Setiap Molaritas Larutan KOH

Data perubahan suhu setiap molaritas larutan KOH ditunjukkan oleh Gambar 4.3.

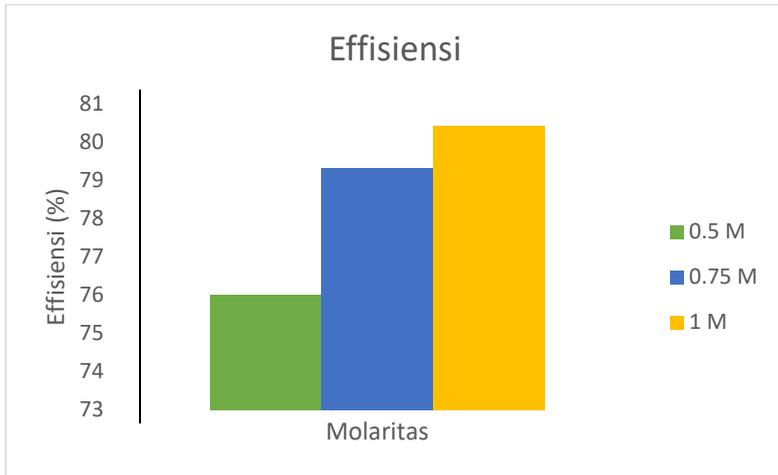


**Gambar 4.3** Grafik perubahan suhu setiap molaritas KOH

Gambar 4.3 menunjukkan grafik antara tekanan dan waktu setiap molaritas larutan KOH. Garis berwarna abu-abu menunjukkan grafik molaritas 0,5 M, garis berwarna biru menunjukkan grafik molaritas 0,75 M, dan garis berwarna oranye menunjukkan grafik molaritas 1 M. Data diambil dengan waktu yang sama.

#### 4.1.4 Efisiensi Setiap Molaritas Larutan KOH

Data Efisiensi Generator HHO setiap molaritas larutan KOH seperti Gambar 4.4.



**Gambar 4.4** Diagram efisiensi setiap molaritas larutan KOH

Gambar 4.4 menunjukkan diagram efisiensi setiap molaritas larutan KOH. Garis berwarna hijau menunjukkan grafik molaritas 0,5 M, garis berwarna biru menunjukkan grafik molaritas 0,75 M, dan garis berwarna kuning menunjukkan grafik molaritas 1 M. Data diambil dengan waktu yang sama. Larutan dengan molaritas 1 M memiliki efisiensi paling bagus. Semakin tinggi nilai molaritas larutan KOH yang digunakan maka semakin tinggi nilai effisiensinya.

## 4.2 Pembahasan

Fungsi utama katalisator adalah untuk mempercepat terjadinya proses reaksi elektrolisis air. Pada penelitian ini dipilih katalisator KOH karena pada penelitian sebelumnya yang dilakukan saudara Fafa katalisator KOH menghasilkan tekanan paling tinggi. Konfigurasi elektroda plus minus dengan tujuh plat netral dipilih karena pada penelitian sebelumnya yang dilakukan saudara Rega tekanan yang dihasilkan paling tinggi. Power suply tegangan 24 volt dan arus 20 ampere dipilih karena pada penelitian sebelumnya yang dilakukan saudara Syani sudah

optimal sambil mempertimbangan konsumsi daya yang dibutuhkan, dengan daya tersebut generator HHO yang dibuat dapat bekerja dengan maksimal baik dalam segi produksi, konsumsi daya dan keamanan.

*Flow rate* merupakan besarnya volume fluida yang mengalir pada tiap detik. Molaritas larutan KOH mempengaruhi hasil produksi gas HHO dari generator. Semakin tinggi molaritas larutan KOH semakin cepat produksi gas HHO. Hal tersebut dibuktikan dengan peningkatan *flow rate* gas HHO sebanding dengan meningkatnya molaritas larutan KOH yang digunakan seperti pada Gambar 4.2. *Flow rate* gas HHO berbanding lurus dengan tekanan. Semakin besar *flow rate*, maka tekanan akan semakin besar. Hal tersebut dikarenakan dalam keadaan stang las yang tertutup, gas HHO yang terproduksi akan memenuhi tabung *bubbler* karena tidak bisa keluar. Semakin banyak gas HHO yang memenuhi tabung *bubbler* maka semakin tinggi tekanan pada sistem terutama pada tabung *bubbler*. Jika stang las terus tertutup, maka tekanan dalam sistem akan terus bertambah karena penambahan gas HHO dan akan menyebabkan kebocoran sistem. Perlakuan seperti itu dilakukan untuk mengetahui kemampuan dari sistem generator HHO yang telah dibuat. Salah satu kebocoran sistem yang dialami pada percobaan kali ini adalah bocornya *seal* pembatas generator. *Seal* pada generator bocor pada tekanan terendah kurang lebih 9122,88 mbar yaitu pada katalisator KOH dengan molaritas 0,5 M. Semakin tinggi molaritas KOH yang digunakan maka semakin tinggi tekanan *output* maksimum yang dihasilkan karena semakin cepat gas yang diproduksi. Kenaikan tekanan gas HHO yang dihasilkan seperti pada Gambar 4.1. Gas yang bocor lebih sedikit daripada gas yang diproduksi sehingga tekanan akan terus naik meskipun terjadi kebocoran. Namun jika kejadian tersebut diteruskan maka kebocoran akan semakin besar bahkan dapat merusak seluruh sistem generator. Hal tersebut dapat menjelaskan bahwa generator HHO yang dibuat sudah cukup baik.

Salah satu cara untuk mengetahui kualitas dari mesin las

adalah dengan mengukur suhu api yang dikeluarkan. Semakin tinggi suhu api yang dikeluarkan maka akan semakin bagus kualitas dari mesin las tersebut. Mesin las yang telah dibuat menggunakan generator gas HHO ini menghasilkan suhu sekitar 460°C pada larutan KOH dengan molaritas 0,5 M; 497°C pada larutan KOH dengan molaritas 0,75 M dan 628°C pada larutan KOH dengan molaritas 1 M. Suhu tersebut berbanding lurus dengan molaritas larutan KOH, semakin tinggi larutan KOH yang dipakai maka semakin tinggi suhu api yang dihasilkan. Kenaikan suhu masih-masing molaritas katalisator seperti pada Gambar 4.3. Kenaikan suhu api diukur selama 20 detik dikarenakan kemampuan maksimum dari termokopel tipe k yang digunakan yakni sebesar 800°C. Jika api terus ditepatkan pada termokopel sampai temperatur maksimum maka akan merusak termokopel tersebut. Suhu api sudah mencapai 628 °C pada waktu 20 detik ketika menggunakan molaritas 1 M sehingga pengukuran dihentikan dengan tujuan menghindari rusaknya termokopel, sehingga pengukuran suhu untuk semua variasi molaritas dilakukan dalam waktu 20 detik. Pada percobaan kali ini api yang dihasilkan dicoba untuk membakar sebuah kawat aluminium dengan diameter 1.5 mm. Kawat aluminium tersebut terbakar dan meleleh. Hasil lelehan kawat aluminium tersebut dapat dijadikan penyambung logam sesuai dengan prinsip pengelasan cair, namun nyala api tersebut masih kurang jika digunakan untuk pemotongan logam. Terdapat tekanan *output* minimum dan maksimum untuk melakukan pengelasan menggunakan bahan bakar gas HHO. Ketika tekanan terlalu tinggi maka api tidak dapat menyala sedangkan ketika tekanan terlalu rendah maka api akan masuk ke dalam sistem lalu menyebabkan ledakan pada tabung *bubbler*. Untuk mengatasi ledakan karena tekanan terlalu rendah dapat dipasang sebuah regulator pada tabung *bubbler* agar api yang masuk dapat terhenti di generator dan tidak sampai masuk ke tabung *bubbler*.

Dari ketiga variasi yang dilakukan, katalisator KOH dengan molaritas 1 M menghasilkan tekanan dan *flow rate* paling optimal

dikarenakan semakin tinggi molaritas maka akan semakin tinggi konduktivitas listrik dari larutan tersebut yang kemudian disebut dengan elektrolit kuat. Konduktivitas listrik mempengaruhi laju elektron listrik pada sistem tersebut. Semakin tinggi konduktivitas listrik maka semakin cepat elektron mengalir sehingga arus listrik semakin besar. Semakin kuat suatu larutan elektrolit maka semakin cepat laju reaksi elektrolisis yang terjadi sehingga produksi gas HHO semakin meningkat. Dari data tersebut, dapat dibuktikan bahwa semakin tinggi molaritas katalisator KOH yang digunakan maka semakin bagus efisiensi dari generator HHO. Data efisiensi generator HHO seperti pada Gambar 4.4. Nilai efisiensi rata-rata generator HHO dengan menggunakan molaritas 0,5 M adalah 76,05; dengan menggunakan molaritas 0,5 M adalah 79,32; dengan menggunakan molaritas 0,5 M adalah 80,44.

Agar generator aman saat proses mematikan api pada stang las, dibuatlah sistem pemadaman dengan menggunakan tambahan kompresor angin. Angin yang dihasilkan kompresor diinjeksikan melalui salah satu saluran stang las. Angin tersebut akan memberikan tekanan yang sangat kuat sehingga api pada ujung stang las akan langsung mati. Cara mematikan api las dengan cara seperti ini sangatlah efektif jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya karena api akan langsung mati dan tidak ada ledakan sama sekali ketika angin diinjeksikan ke dalam salah satu saluran pada stang las. Sistem ini bisa menjawab permasalahan sebelumnya tentang keamanan, dimana api akan masuk kedalam selang dan akan timbul ledakan. Ledakan tersebut dapat menyebabkan kerusakan sistem terutama tabung *bubbler*.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari data yang diperoleh pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa:

1. Telah dibuat alat untuk memproduksi gas HHO menggunakan generator HHO tipe *dry cell* yang aman.
2. Katalisator KOH dengan konsentrasi 1 M memproduksi gas HHO paling optimal.
3. Tekanan maksimum yang dapat dicapai sistem sebesar 25087,92 mbar dan debit tertinggi sebesar 0,04303 L/s.
4. Suhu api tertinggi dicapai pada 629,75°C dengan menggunakan katalisator KOH 1M.
5. Nyala api gas HHO dapat melelehkan kawat aluminium pak an las.

#### 5.2 Saran

Dari hasil penelitian ini, maka saran yang dapat diberikan yaitu:

1. Diperlukan pengambilan data *flow rate* yang lebih akurat.
2. Diperlukan alat ukur yang *real time*.
3. Diperlukan *seal* pembatas antar plat yang lebih baik agar kuat dalam tekanan tinggi.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

- Abe, Isao. 1998." ENERGY CARRIERS AND CONVERSION SYSTEMS – Vol. I - Alkaline Water Electrolysis", Chiba-Japan: Office tera.
- Bintoro, A. Gatot. 2000."Dasar-Dasar Pekerjaan Las", Yogyakarta: Kanisius.
- Chang, Raymond. 2005."Kimia Dasar : Konsep-Konsep Inti", Jilid 2, Edisi 3, Jakarta: Erlangga.
- Huber, Joseph. 2004. "New Technologies and Environmental Innovation", Northampton: Edward Elgar.
- Jeffus, Larry. 2004."Welding Principles and Applications Fifth Edition", Boston: Delmar Learning.
- Justiana, Sandri. 2006."Kimia 1", Surabaya: Yudhistira.
- Kumar, Seerla Sai. 2015. "Optimization and Control of Fuel by Producing Brown Gas by HHO Generating Device Controlled by VHDL and Implementing in FPGA". Research Paper, International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research.
- Marlina, Ena. 2013."Produksi Brown's Gas Hasil Elektrolisis H<sub>2</sub>O dengan Katalis NaHCO<sub>3</sub>"Jurnal Rekayasa Mesin Vol.4, No.1 Tahun 2013 53-58 Universitas Brawijaya.
- Maynard, Elliott. 2003."Transforming The Global Biosphere Twelve Futuristic Strategies", Arizona: Arcos Cielos .
- Oxtoby, David W. 2003. "Kimia Modern", Jakarta: Erlangga.
- Schalenbach, Maximilian. 2018."A Perspective on Low-Temperature Water Electrolysis Challenges in Alkaline and Acidic Technology". International Journal of ELECTROCHEMICAL SCIENCE, [www.electrochemsci.org](http://www.electrochemsci.org).
- Silva, TS De. 2015. "HHO Generator – An Approach to Increase Fuel Efficiency in Spark Ignition Engines". Research Article of European Journal of Advances in Engineering and Technology, [www.ejaet.com](http://www.ejaet.com).
- Suhanggoro, Dharmo Seto. 2015. "Aplikasi Penggunaan Generator

Gas HHO Tipe Dry Cell Menggunakan Plat Titanium Terhadap Performa Dan Emisi Gas Buang Honda Megapro 150 cc". JURNAL TEKNIK ITS Vol. 4, No. 1.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Data Percobaan

**Tabel 1.** Data kenaikan tekanan *output* generator HHO (mbar) pada tiap molaritas katalisator

Waktu (detik)	Molaritas KOH		
	0,5 M	0,75 M	1 M
1	0	0	0
2	760,24	1520,48	1520,48
3	1520,48	3040,96	3040,96
4	3040,96	5321,68	6842,16
5	4561,44	6842,16	8362,64
6	5321,68	8362,64	10643,36
7	6842,16	10643,36	12163,84
8	9122,88	12924,08	13684,34
9	9122,88	14444,58	15204,82
10	9122,88	17725,3	17485,54
11	9122,88	19006,02	20526,5
12	8362,64	20526,5	22046,98
13	8362,64	22046,98	25087,93
14	8362,64	23567,45	25087,93
15	8362,64	23567,45	25087,93

**Tabel 2.** Data tegangan (volt) dan waktu yang dibutuhkan gas HHO mengisi gelas beker 500mL (detik) pada tiap molaritas katalisator

Percobaan ke	Molaritas KOH					
	0,5 M		0,75 M		1 M	
	v	t	v	t	v	t
1	23,98	15,68	23,98	15,56	23,98	14,42

2	23,98	16,68	23,98	15,09	23,98	14,59
3	23,98	15,38	23,98	14,63	23,98	15,06
4	23,98	15,37	23,98	14,62	23,98	14,54
5	23,98	15,3	23,98	14,62	23,98	14,78
6	23,98	15,43	23,98	14,63	23,98	14,59
7	23,98	16,04	23,98	14,99	23,98	14,54
8	23,98	15,38	23,98	15,13	23,98	14,92
9	23,98	15,45	23,98	15,04	23,98	14,88
10	23,98	15,77	23,98	14,62	23,98	14,62

**Tabel 3.** Data kenaikan temperatur api keluaran (°C) pada tiap molaritas katalisator

Waktu (detik)	Molaritas KOH		
	0,5 M	0,75 M	1 M
1	33,75	34,75	34,5
2	35	44,25	35,75
3	38,25	63	50,25
4	46,5	92,25	78,5
5	64	125	119,25
6	91,25	159	167
7	127	186,75	215,5
8	165	212	260,25
9	208,5	233,25	300,75
10	229	252	340,75
11	258	280,5	380,75
12	303,25	316,25	414,25
13	338	346,25	446,75
14	365,25	369,75	482

15	399,5	389,5	513
16	428,25	409,5	538,25
17	447,25	430	568
18	456,25	452	600,25
19	459,5	472	619,5
20	460	486,5	626

**Tabel 13.** Data rata-rata tegangan dan waktu yang dibutuhkan gas HHO mengisi gelas beker 500mL pada tiap molaritas katalisator

Katalisator	0,5 M	0,75 M	1 M
V plat	23,98	23,98	23,98
t	15,58	14,89	14,69

### Lampiran 2. Perhitungan

Data yang didapat berupa waktu pengisian gelas beker 500mL sehingga debit gas HHO harus dihitung. Adapun salah satu contoh perhitungan dengan data waktu yang dibutuhkan data gas HHO untuk mengisi gelas ukur 500ml yaitu 15,77 detik dengan variasi katalisator KOH 0,5 M sebagai berikut.

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{0,5}{15,77}$$

$$Q = 0,03 \frac{L}{s}$$

Berikut adalah hasil perhitungan debit pada variasi yang lain

**Tabel 15.** Data perhitungan debit pada tiap katalisator

Percobaan ke	Q (mL/s)		
	KOH 0,5M	KOH 0,75M	KOH 1M
1	0,031	0,032	0,035
2	0,031	0,033	0,034
3	0,033	0,034	0,033
4	0,033	0,034	0,034
5	0,033	0,034	0,034
6	0,032	0,034	0,034
7	0,031	0,033	0,034
8	0,033	0,033	0,034
9	0,032	0,033	0,034
10	0,032	0,034	0,034
rata-rata	0,032	0,034	0,034

Kemudian dihitung nilai efisiensi generator HHO Adapun contoh perhitungan dengan data debit dengan variasi katalisator KOH 0,5 M sebagai berikut.

$$\dot{n}R = \frac{P \times Q}{R \times T}$$

$$\dot{n} = \frac{1 \times 0,0317057}{0,082 \times 306,75}$$

$$\dot{n} = 0,0013 \frac{\text{mol}}{\text{s}}$$

$$\eta = \frac{\Delta h f \times \dot{n}}{V \times i} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{285,8 \times 10^3 \times 0,001260491}{23,98 \times 20} \times 100\%$$

$$\eta = 75,56 \%$$

**Tabel 16.** Data perhitungan efisiensi pada tiap variasi konsentrasi KOH

Percobaan ke	$\eta$ (%)		
	KOH 0,5M	KOH 0,75M	KOH 1M
1	75,56	75,89	81,96
2	73,68	78,26	81,01
3	77,03	80,72	78,47
4	77,08	80,77	81,28
5	77,43	80,77	79,96
6	76,78	80,72	81,01
7	73,86	78,78	81,28
8	77,03	78,05	79,21
9	76,68	78,52	79,42
10	75,12	80,77	80,84
rata-rata	76,03	79,32	80,44

**Lampiran 3.** Coding Pemrograman Sensor Tekanan dan Temperatur

```
#include "max6675.h"
```

```
#include "Wire.h"
```

```
int ktcSO = 8;
```

```
int ktcCS = 9;
```

```
int ktcSCK = 10;
```

```
int x;
```

```
float v;
```

```
float Pressure;
```

```
MAX6675 ktc(ktcSCK, ktcCS, ktcSO);
```

```
unsigned long int milli_time; //variable to hold the time
```

```
void setup() {
```

```
    Serial.begin(9600);
```

```
    // give the MAX a little time to settle
```

```
    Serial.println("CLEAR SHEET");
```

```
    Serial.println("LABEL,Date,Waktu,Time (Milli  
Sec.),Temperatur C,Pressure");
```

```
    delay(500);
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
    milli_time = millis();
```

```
    // basic readout test
```

```
    x = analogRead(A0);
```

```
    v = x*(5.0/1023.0);
```

```
    Pressure = (((v/5.0)-0.04)/0.0000012858) - 96611.35);
```

```
    Serial.print("Deg C = ");
```

```
    Serial.print(ktc.readCelsius());
```

```
    Serial.print("\t Deg F = ");
```

```
    Serial.println(ktc.readFahrenheit());
```

```
Serial.print("DATA,DATE,TIME,");
```

```
Serial.print(milli_time);
```

```
Serial.print(",");
```

50

```
Serial.print(ktc.readCelsius());
```

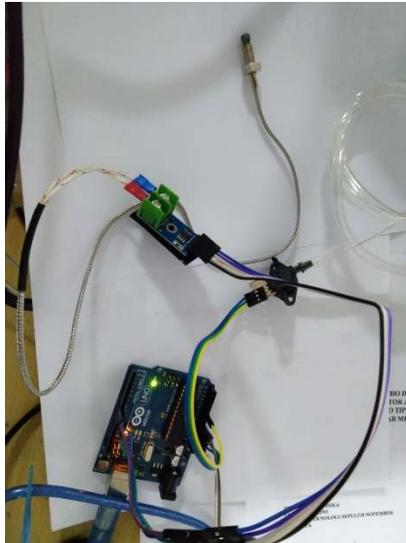
```
Serial.print(",");P
```

```
Serial.println(Pressure);
```

```
delay(1000);
```

```
}
```

#### Lampiran 4. Dokumentasi Penelitian



**Gambar 1.** Rangkaian sensor tekanan dan suhu



**Gambar 2.** Keseluruhan alat



**Gambar 3.** Pemasangan power supply ke generator



**Gambar 4.** Pengujian alat



**Gambar 5.** Pengujian pembakaran kawat tembaga



**Gambar 6.** Pembakaran pada kawat tembaga



**Gambar 7.** Ledakan karena kegagalan sistem pematian

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis yaitu Yama Fanani Ramadhon, dengan nama panggilan Yama. Penulis dilahirkan di Lamongan pada tanggal 17 Januari 1998. Penulis merupakan anak dari pasangan Slamet dan Setiyani Mulyaningsih, anak pertama dari dua bersaudara. Riwayat pendidikan penulis yaitu, SDN Bedahan lulus tahun 2010, MTsN Model Babat lulus tahun 2012, SMAN 2 Lamongan lulus tahun 2015. Tahun 2015 masuk ke Departemen Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui jalur SNMPTN. Penulis mengambil bidang minat Instrumentasi Elektronika. Pengalaman semasa kuliah yaitu sebagai staff Departemen Kewirausahaan UKM Cinta Rebana, koordinator sie keamanan dan perijinan Physics Summit 6, Kepala Departemen Entrepreneur Himasika ITS periode 2017-2018 dan Asisten praktikum Fisika Laboratorium Instrumentasi. Motto hidup penulis yaitu **”Teruslah mencoba sampai kita tiada”**, Pengalaman adalah guru terbaik. Kita tidak akan mendapat pengalaman berharga kalau kita tidak mencoba.

yama.fanani15@mhs.physics.its.ac.id