



TUGAS AKHIR - TM 145502

**PERBANDINGAN LAJU ALIRAN MASSA
VARIASI ELEKTRODA PADA HHO
GENERATOR (WET CELL)**

**BONDAN ADI NEGORO
NRP. 10211500000092**

**Dosen Pembimbing :
Ir. Denny M.E. Soedjono, MT.
NIP. 19570331 198803 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018**



TUGAS AKHIR - TM 145502

**PERBANDINGAN LAJU ALIRAN MASSA
VARIASI ELEKTRODA PADA HHO
GENERATOR (WET CELL)**

**BONDAN ADI NEGORO
NRP. 10211500000092**

**Dosen Pembimbing :
Ir. Denny M.E. Soedjono, MT.
NIP. 19570331 198803 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018**



FINAL PROJECT - TM 145502

**COMPARISON OF MASS FLOW VARIATION OF
ELECTRODE ON HHO GENERATOR
(WET CELL)**

**BONDAN ADI NEGORO
NRP. 10211500000092**

**Counselor Lecturer :
Ir. Denny M.E. Soedjono, MT.
NIP. 19570331 198803 1 001**

**STUDY PROGRAM DIPLOMA III
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Vocation
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2018**

PERBANDINGAN LAJU ALIRAN MASSA VARIASI ELEKTRODA PADA HHO GENERATOR (WET CELL)

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya**

Pada

Bidang Studi Manufaktur

Departemen Teknik Mesin Industri

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

SURABAYA

Oleh :

Bondan Adi Negoro

NRP. 10211500000092



SURABAYA

JULI 2018

PERBANDINGAN LAJU ALIRAN MASSA VARIASI ELEKTRODA PADA HHO GENERATOR (WET CELL)

Nama Mahasiswa : Bondan Adi Negoro
NRP : 10211500000092
Jurusan : Departemen Teknik Mesin
Industri FV – ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Denny M.E. Soedjono, MT.

Abstrak

Akibat menipisnya bahan bakar minyak membuat manusia berusaha mencari energi alternatif yang ramah lingkungan. Air dan Hydrogen menjadi focus perhatian pengembang energi terbarukan karena lebih bersih (ramah lingkungan). Air dapat diubah menjadi salah satu bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dengan mengubahnya menjadi bentuk gas melalui proses elektrolisis. Proses elektrolisis memisahkan molekul air menjadi gas hydrogen dan oksigen, yaitu dengan cara mengalirkan arus listrik ke elektroda ke tempat larutan elektrolit yaitu campuran air yang sudah ditambahkan katalis. Alat ini disebut HHO (*Oxyhydrogen*).

Selanjutnya dilakukan pengujian mengukur laju aliran massa pada output HHO ini menggunakan manometer tabung pipa U tanpa menggunakan beban. Variabel yang digunakan adalah 3 macam elektroda yang berbeda, yaitu plat stainless steel, tube aluminium, dan plat besi.

Diperoleh laju aliran massa elektroda yang digunakan plat stainless steel sebesar 77,3 Kg/jam, tube aluminium sebesar 72,2 Kg/jam, plat besi sebesar 42,2 Kg/jam.

Kata Kunci : HHO, Elektroda, Laju Aliran Massa

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

COMPARISON OF MASS FLOW VARIATION OF ELECTRODE ON HHO GENERATOR (WET CELL)

Name of student Univ. : Bondan Adi Negoro
NRP : 10211500000092
Major : Department of Mechanical
Engineering Industry FV-ITS
Counselor Lecture : Ir. Denny M.E. Soedjono,MT.

Abstract

Due to the depletion of fuel oil makes humans trying to find alternative energy that is environmentally friendly. Water and Hydrogen are the focus of renewable energy developers because they are cleaner (environmentally friendly). Water can be converted into one of the environmentally friendly alternative fuels by converting it into gaseous form through electrolysis process. The electrolysis process separates the water molecules into hydrogen and oxygen gas, that is by passing an electric current to the electrode to the electrolyte solution ie the water mixture already added the catalyst is located. This tool is called HHO (*Oxyhydrogen*).

Further testing is done to measure the mass flow rate at this HHO output using U tube manometer without using load. Variables used are 3 different electrode, namely stainless steel plate, aluminum tube, and iron plate.

The electrode mass flow rate of stainless steel plate is 77,3 Kg / hour, aluminum tube 72,2 Kg / hour, iron plate 42,2 Kg / hour.

Keywords : HHO, Electrode, Mass Flow

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikumWr. Wb.

AlhamdulillahRabbil'Alamin, Segala puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan karunia, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan dan menuntaskan seluruh pengerjaan Tugas Akhir ini yang berjudul : Perbandingan Laju Aliran Massa Variasi Elektroda Pada Rancang Bangun HHO Generator (Wet Cell)

Penyelesaian Tugas Akhir ini merupakan syarat kelulusan akademis dan memperoleh gelar Ahli Madya dalam menempuh pendidikan Bidang Studi Manufaktur di program Studi D3 Teknik Mesin, Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Dalam terselesaikannya tugas akhir ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu secara moral maupun materi, yakni:

1. **Bapak Ir. Denny M.E. Soedjono, MT.** Selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah banyak memberikan bimbingan dan ilmu mengenai motor pembakaran dalam yang terkait dengan tugas akhir.
2. **Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT.** selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
3. **Bapak Ir. Suhariyanto, MT.** Selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS
4. **Para Dosen Penguji** selaku dosen yang memberikan kritik, saran, serta masukan yang sangat bermanfaat untuk penyempurnaan tugas akhir ini.
5. Ayah (**Marjatno**), Ibu (**Bertha Oktavina Handayani.**), yang selalu mendukung, beri nasehat, serta doa yang tak pernah berhenti. Terima kasih atas inspirasi dan kasih sayang yang telah diberikan demi kesuksesan penulis

6. **Mas Andre** sebagai partner membuat, merancang, memfasilitasi, memotivasi dalam menyelesaikan alat ini. Terima kasih telah menerima kekurangan saya dan mendampingi dari awal sampai akhir.
7. **Teman – teman Nogogeni 17/18** yang telah banyak memberi ilmu, inspirasi, dan sekaligus penghibur saat jatuh. Maaf saya masih banyak kurangnya
8. **Faras, Sakti, dan Aziz** Selaku partner divisi Elecrical and Propulsion System yang telah belajar dan berjuang bersama untuk almamater
9. **Teman – Teman Kos Gw 21** yang telah menolong, menghibur, dan memberikan tempat tidur selama 2 semester ini.
10. **Seluruh teman-teman Warga Angkatan 2015** yang selalu membantu dan memberikan semangat kepada penulis. Terima kasih atas segala kritik dan saran serta motivasi yang telah kalian berikan.
11. Semua pihak yang belum disebutkan di atas yang telah memberikan do'a, bantuan, dan dukungannya bagi penulis hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu.

Penulis mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan tugas akhir ini. Akhirnya, penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan di masa depan.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x

BAB I

PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Metode Penelitian	3

BAB II

DASAR TEORI.....	5
2.1. Elektrolisis.....	5
2.1.1 Jenis Elektrolisis	7
2.2. Netral Plat Generator.....	8
2.3. Elektrolit.....	10
2.3.1 Jenis Elektrolit.....	11
2.4. Elektroda	14
2.4.1 Jenis Elektroda.....	14
2.4.2 Baja Tahan Karat.....	15
2.4.3 Aluminium.....	16
2.4.4 Besi.....	17
2.5. Pengukuran Laju Bahan Bakar Gas Hidrogen	18

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN.....	23
-----------------------------------	-----------

3.1. Diagram Alir Pengujian	23
3.2. Penelitian	24
3.3. Tempat Penelitian	25
3.4. Peralatan Percobaan.....	25
3.5. Instalasi Percobaan	33
3.6. Bahan Bakar Uji.....	34
3.7. Prosedur Pengujian	35

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN..... 39

4.1. Data Hasil Penelitian	39
4.2. Perhitungan Laju Aliran Massa Bahan Bakar Gas Hidrogen	39
4.2.1. Perhitungan Laju Aliran Massa Gas Hidrogen Elektroda Stainless Steel	40
4.2.2. Perhitungan Laju Aliran Massa Gas Hidrogen Elektroda Tube Alumunium.....	42
4.2.3. Perhitungan Laju Aliran Massa Gas Hidrogen Elektroda Plat Besi	43
4.3. Perhitungan Reaksi Kimia Pada Elektrolisis HHO	45

BAB V

PENUTUP..... 47

5.1. Kesimpulan	47
5.2. Saran	47

DAFTAR PUSTAKA

BIODATA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Sel Elektrolisis.....	6
Gambar 2.2. Reaktor Elektrolisis Basah.....	7
Gambar 2.3. Reaktor Elektrolisis Kering.....	8
Gambar 2.4. Plat Netral.....	9
Gambar 2.5. Elektrolit Kuat.....	12
Gambar 2.6. Elektrolit Lemah.....	12
Gambar 2.7. Non Elektrolit.....	13
Gambar 2.8. Stainless Steel.....	16
Gambar 2.9. Aluminium.....	17
Gambar 2.10. Besi.....	18
Gambar 2.11. Pitot Tube.....	19
Gambar 3.1. Diagram Alir Pengujian.....	24
Gambar 3.2. Tabung Filter.....	25
Gambar 3.3. Rangkaian Plat Stainless Steel Positif (+) dan negatif (-).....	25
Gambar 3.4. Plat Besi.....	26
Gambar 3.5. Tube Alumunium.....	26
Gambar 3.6. Pipa.....	27
Gambar 3.7. Kabel.....	27
Gambar 3.8. Multitester Digital.....	28
Gambar 3.9. Klem.....	28
Gambar 3.10. Obeng.....	29
Gambar 3.11. Manometer Tabung Pipa U.....	29
Gambar 3.12. Air.....	30
Gambar 3.13. Soda Kue.....	30
Gambar 3.14. Bolt Nut.....	31
Gambar 3.15. Mur.....	31
Gambar 3.16. Skun Lingkaran.....	32
Gambar 3.17. Inverter.....	32
Gambar 3.18. Accu.....	33
Gambar 3.19. Skema Instalasi Percobaan Sederhana.....	33

Gambar 3.20. Instalasi Pengujian HHO.....	34
Gambar 4.1 Grafik Analisis Elektroda.....	46

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Nilai Massa Jenis Bahan Bakar Uji.....34

Tabel 3.2. Nilai Low Heating Value Bahan Bakar Uji.....34

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan meningkatnya jumlah penduduk Indonesia serta diiringi dengan meningkatnya laju pertumbuhan industri mengakibatkan pemakaian sumber energi primer seperti minyak dan gas bumi juga semakin meningkat, sementara itu produksi minyak dan gas tersebut sangatlah tidak sesuai dengan kebutuhan, disamping itu jumlah cadangan minyak dan gas bumi sangat terbatas.

Akibat dampak menipisnya sumber cadangan energi fosil membuat manusia berusaha mencari energi pengganti baru bersih yang aman dengan lingkungan, mulai dari pemanfaatan energi surya, energi angin, hingga pemanfaatan hydrogen untuk energi alternatif. Hydrogen menjadi focus perhatian pengembang energi terbarukan karena lebih bersih (ramah lingkungan karena penggunaanya hanya menghasilkan uap air yang aman terhadap lingkungan) dan unggul dari segi efisiensi dan sifatnya yang portable. Energi hydrogen mempunyai peran menggantikan energi fosil dimasa depan khususnya sebagai sumber energi untuk sarana transportasi. Hidrogen merupakan unsur teringan dan yang paling melimpah di dunia (75% dari total massa unsur alam semesta). Untuk memperoleh hydrogen maka energi hydrogen harus diproduksi karena hydrogen bukanlah gas yang bisa ditambang seperti LNG.

Salah satu sumber daya alam yang melimpah dan dapat dimanfaatkan di bumi ini adalah air. Air dapat dijadikan sebagai bahan bakar alternatif. Air dapat diubah menjadi salah satu bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dengan mengubahnya menjadi bentuk gas melalui proses elektrolisis. Elektrolisis merupakan proses kimia yang mengubah energi listrik menjadi energi kimia. Proses elektrolisa memisahkan molekul air menjadi gas hydrogen dan oksigen salah satunya adalah dengan cara mengalirkan arus listrik ke elektroda ke tempat larutan elektrolit

yaitu campuran air yang sudah ditambahkan katalis berada. Reaksi elektrolisis tergolong reaksi redoks tidak spontan, reaksi itu dapat berlangsung karena pengaruh energi listrik.

Hidrogen memiliki banyak kelebihan antara lain memiliki energi pembakaran yang besar persatuan massa hidrogen dan merupakan bahan bakar yang sangat bersih karena emisi pembakarannya hanya berupa uap air (H_2O). Gas Hidrogen dan Oksigen yang diproduksi oleh proses elektrolisis disebut *Brown Gas*. Komponen utama system elektrolisis untuk memproduksi *Brown Gas* terdiri dari tabung berisi dengan katalis, elektroda katoda dan anoda serta suplai tegangan listrik. Kandungan katalisator, luas permukaan elektroda katoda dan anoda serta suplai tegangan listrik. Kandungan katalisator, luas permukaan elektroda, besar arus dan besar tegangan, sangat berpengaruh terhadap hasil gas yang akan dihasilkan. Jika arus dinaikkan dan menimbulkan panas, maka keluaran gas akan mengandung uap air. Hal inilah yang dapat menjelaskan mengapa kendaraan setelah menempuh jarak tertentu menjadi tersendat, yaitu karena kandungan airnya sudah terlalu banyak meskipun pada kecepatan tertentu system alat produksi *Brown Gas* juga mampu memberi efek penghematan

1.2 Permasalahan

Dari uraian diatas, permasalahan yang muncul pada penelitian ini adalah :

Bagaimana menciptakan energi terbarukan sebagai cadangan pengganti bahan bakar minyak yang semakin lama semakin menipis. HHO (*Oxyhydrogen*) generator menjadi solusi yang bisa dicoba.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Memperoleh satu unit *prototype HHO (Oxyhydrogen) Fuel Generator* yang ramah lingkungan
2. Memperoleh perbandingan dari variasi elektroda yang digunakan

3. Mengetahui laju aliran massa gas hidrogen yang dihasilkan oleh *HHO Generator*
4. Menjadi solusi semakin menipisnya bahan bakar minyak.

1.4 Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas tidak terlalu meluas, maka diberikan batasan – batasan sebagai berikut :

1. Pengujian dilakukan dengan menggunakan tabung manometer pipa U untuk mengukur laju aliran massa.
2. Elektroda yang digunakan, yaitu plat stainless steel, tube aluminium, dan plat besi
3. Elektrolit yang digunakan, yaitu terdiri dari air dan soda kue
4. Data diambil setelah generator berfungsi selama 20 menit
5. Tidak melakukan analisa perhitungan elektrolit
6. Tidak melakukan analisa sifat mekanik pada elektroda
7. Tidak melakukan pembebanan pada pengujian

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan bisa menjadi solusi untuk menipisnya bahan bakar minyak. Dapat mempermudah pekerjaan rumah tangga dan berguna pada dunia otomotif. Serta menjadi alat yang murah dan ramah lingkungan.

1.6 Sistematika Penulisan

Agar alur pemikiran penulis dapat diikuti dan dipahami secara utuh maka laporan tugas akhir ini disusun berdasarkan sistematika penulisan yang bersifat umum sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, sistematika penulisan.

BAB II : DASAR TEORI

Pada bab ini membahas tentang teori yang berkaitan dengan pembahasan elektrolisis beserta perumusannya. Dasar teori bersumber pada berbagai *literature* seperti jurnal, buku, dan internet

BAB III : METODOLOGI

Pada bab ini menjelaskan metodologi dan diagram alir dari pengujian yang akan dilakukan dalam penelitian serta alat – alat yang dipergunakan dalam pelaksanaan pengujian.

BAB IV : ANALISIS DAN PERHITUNGAN

Pada bab ini membahas mengenai cara perhitungan laju aliran massa gas hidrogen pada saat generator menyala.

BAB V : KESIMPULAN

Bab kesimpulan menyatakan pernyataan akhir dari uraian dan penjelasan pada bab - bab sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

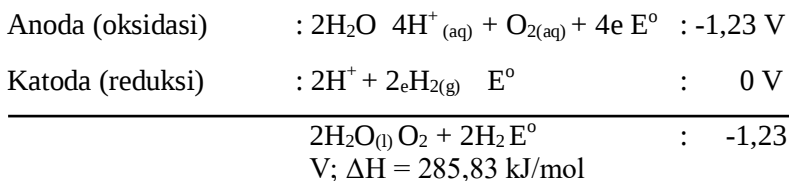
BAB II DASAR TEORI

2.1 Elektrolisis

Elektrolisis adalah metode pemecahan molekul – molekul air menjadi atom – atom penyusunnya (hidrogen dan oksigen) dengan menggunakan arus listrik yang melewati dua kutub elektroda.

Pada elektrolisis, sebuah sumber listrik dihubungkan dengan dua elektroda atau 2 plat yang diletakkan di dalam suatu larutan. Setelah proses dijalankan, maka air akan terpisah menjadi hidrogen dan oksigen. Hidrogen akan terkumpul di katoda (elektroda negatif) dan oksigen akan terkumpul pada anoda (elektroda positif). Gas hidrogen yang dihasilkan jumlahnya dua kali lipat dari gas oksigen yang dihasilkan dan keduanya proporsional dengan total energi listrik yang dialirkan melalui air. (*Reference 4, Page 9*)

Persamaan reaksinya adalah sebagai berikut :



Energi listrik yang diperlukan untuk elektrolisis adalah 285,83 kJ/mol H_2 produk. Energi dalam jumlah yang cukup besar ini digunakan untuk mengatasi berbagai hambatan (energi aktivasi, resistansi listrik, resistansi transport dan resistansi reaksi kimia). Tanpa kelebihan energi, elektrolisis dari air murni akan

Berdasarkan hasil eksperimennya, Michael Faraday menemukan beberapa kaidah perhitungan elektrolisis yang dikenal dengan Hukum Faraday.

- Hukum Faraday I

“Jumlah zat yang dihasilkan elektroda sebanding dengan arus listrik yang mengalir pada sel elektrolisis”.

“Bila sejumlah tertentu arus listrik melalui sel, dengan jumlah mol zat yang berubah dielektroda adalah konstan tidak tergantung pada jenis zat”.

Misalnya kuantitas listrik yang diperlukan untuk mendapatkan 1 mol logam monovalen adalah 96485 C (Coulomb) tidak bergantung pada jenis logamnya

- Hukum Faraday II

“Jumlah zat – zat yang diendapkan pada masing – masing elektroda oleh sejumlah arus listrik yang sama banyaknya akan sebanding dengan berat ekuivalen masing – masing zat tersebut”.

Arus listrik suatu faraday (1f) didefinisikan sebagai jumlah arus listrik yang terdiri dari 1 mol elektron (*Reference 4, page 12*)

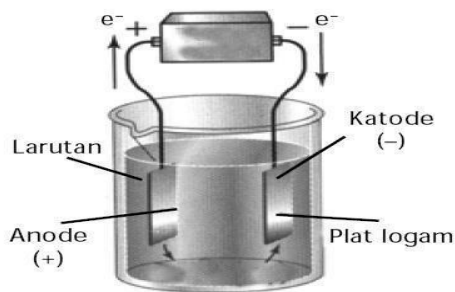
$$W = (e \cdot i \cdot t) / F$$

w = massa zat, gram

e = massa ekuivalen, atau (M/valensi)

i = kuat arus, ampere

t = waktu, detik



*Gambar 2.1 Sel Elektrolisis
(Reference 7)*

2.1.1 Jenis Elektrolisis

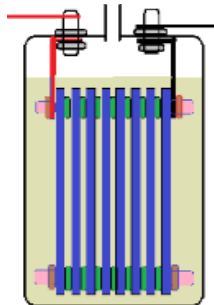
Elektrolisis dibagi menjadi 2 tipe berdasarkan reaktor yang digunakan yaitu elektrolisis tipe kering (dry cell) dan tipe basah (wet cell)

A. Wet Cell

Sel elektrolisis tipe basah merupakan reaktor elektrolisis dimana semua elektrodanya terendam cairan elektrolit di dalam sebuah bejana air. Pada tipe wet cell membutuhkan energi listrik yang lebih besar dikarenakan semua area luasan elektroda platnya terendam air untuk proses elektrolisis HHO.

Keuntungan generator gas HHO tipe wet cell adalah :

1. Gas yang dihasilkan umumnya lebih banyak.
2. Perawatan generator lebih mudah.
3. Rancang bangun pembuatan generator HHO lebih mudah.



*Gambar 2.2. Reaktor Elektrolisis basah
(Reference 8)*

B. Dry Cell

Sel elektrolisis tipe kering merupakan reaktor sel elektrolisis dimana sebagian elektrodanya tidak terendam dan elektrolit hanya mengisi celah – celah antara elektroda itu sendiri.

Luasan lingkaran pada plat elektroda yang terendam air adalah area terjadinya elektrolisis untuk menghasilkan HHO, sedangkan sebagian luasan yang lainnya tidak terendam air dan plat dalam kondisi kering. Luasan yang terelektrolisis sekitar 60% dan cukup dibatasi dengan o-ring pada setiap plat yang digunakan. Selain itu pada setiap plat terdapat lubang yang digunakan sebagai saluran gas HHO yang berada di bagian atas dan di bawah.

Keuntungan reaktor HHO tipe dry cell adalah :

1. Air yang di elektrolisis hanya seperlunya, yaitu hanya air yang terjebak diantara lempengan cell.
2. Panas yang ditimbulkan relative kecil, karena selalu terjadi sirkulasi antara air panas dan dingin di reservoir.
3. Arus listrik yang digunakan relative kecil, karena air yang dielektrolisis hanya seperlunya dan daya yang terkonversi menjadi panas semakin sedikit.



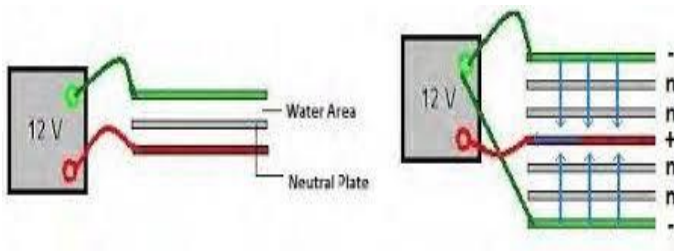
*Gambar 2.3 Reaktor Elektrolisis Kering
(Reference 8)*

2.2 Netral Plat Generator HHO

Plat netral adalah suatu plat elektroda pada generator gas HHO yang tidak dialiri oleh listrik, sehingga elektroda ini bukan merupakan suatu kutub negatif maupun positif, oleh karena itu

disebut sebagai elektroda netral. Netral plat menyebabkan tegangan drop antar plat, dimana netral plat memberikan luas permukaan tambahan untuk produksi gas HHO serta menurunkan panas yang diakibatkan dari proses elektrolisa air.

Plat netral berada diantara elektroda positif dan negatif dan tidak dialiri oleh arus listrik. Ketika plat netral ditambahkan, maka water area (kolom air diantara plat) juga akan bertambah sesuai dengan jumlah plat netral yang ditambahkan. Ketika plat netral ditambahkan dielektroda positif maupun negatif maka besar arus listrik yang melalui plat netral juga sama dengan arus yang melewati elektroda positif dan negatif. Jika diukur besar tegangan antara suatu cell kutub positif dan negatif adalah 12 V namun bila diukur besar tegangan pada salah satu kutub elektroda dengan plat netral maka terjadi penurunan tegangan sesuai dengan penambahan netral platnya. Disebabkan penambahan plat netral menaikkan resistansi atau hambatan pada arus listrik yang bekerja pada elektroda, sehingga penambahan plat netral dapat menurunkan tegangan listrik pada plat elektroda. Semakin rendah tegangannya, semakin rendah pula panas yang dihasilkan, karena tegangan yang rendah dengan besar arus yang sama, serta luas permukaan yang bertambah dikarenakan penambahan plat netral, maka laju produksi gas HHO pada generator juga akan semakin meningkat.



*Gambar 2.4 Plat Netral
(Reference 9)*

2.3 Elektrolit

Elektrolisis air tidak dapat mengkonversi 100% energi listrik menjadi energi kimia pada hidrogen. Proses ini membutuhkan energi yang jauh lebih besar untuk mengaktifkan air yang dapat terionisasi. Jumlah energi yang diperlukan ini tidak sebanding dengan jumlah hidrogen yang dihasilkan. Dengan menggunakan metode elektrolisis biasa hanya sekitar 4% produksi hidrogen yang dihasilkan dari air murni sehingga perlu menggunakan larutan elektrolit untuk mempercepat proses elektrolisis.

Elektrolit adalah suatu zat terlarut atau terurai ke dalam bentuk ion – ion dan selanjutnya larutan menjadi konduktor elektrik. Umumnya, air adalah pelarut (solven) yang baik untuk senyawa ion dan mempunyai sifat menghantarkan arus listrik. Contohnya apabila elektroda bereaksi dengan air murni, bola lampu tidak akan menyala karena air tersebut merupakan konduktor listrik yang sangat jelek. Apabila suatu senyawa ion yang larut seperti NaCl ditambahkan pada air, maka solutnya akan larut sehingga bola lampu mulai menyala dengan terang.

Bila larutan elektrolit dialiri arus listrik, ion – ion dalam larutan akan bergerak menuju electrode dengan muatan yang berlawanan, melalui cara ini arus listrik akan mengalir dan ion bertindak sebagai penghantar, sehingga dapat menghantarkan arus listrik. Senyawa seperti NaCl yang membuat larutan menjadi konduktor listrik. Proses oksidasi dan reduksi sebagai reaksi pelepasan dan penangkapan oleh suatu zat. Oksidasi adalah proses pelepasan elektron dari suatu zat sedangkan reduksi adalah proses penangkapan electron oleh suatu zat.

Kekuatan suatu elektrolit ditandai dengan suatu besaran yang disebut derajat ionisasi (α) Elektrolit kuat memiliki harga $\alpha = 1$, sebab semua zat yang dilarutkan terurai menjadi ion elektrolit lemah memiliki harga $\alpha < 1$, sebab hanya sebagian yang terurai menjadi ion.

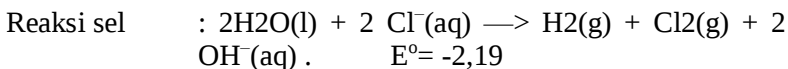
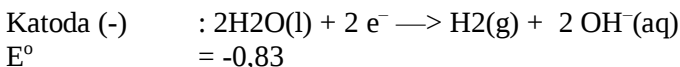
2.3.1 Jenis Elektrolit

A. Elektrolit Kuat

Beberapa elektrolit seperti kalium klorida, natrium hidroksida, natrium nitrat terionisasi sempurna menjadi ion – ionnya dalam larutan. Elektrolit yang terionisasi sempurna disebut dengan elektrolit kuat. Dengan kata lain, elektrolit kuat terionisasi 100%.

Reaksi disosiasi elektrolit kuat ditulis dengan tanda anak panah tunggal ke kanan. Secara umum basa kuat seperti kalium hidroksida dan garam dan asam kuat seperti asam sulfat, asam nitrat, asam klorida adalah elektrolit kuat. Sebagai contoh :

Reaksi yang terjadi pada elektrolisis larutan garam NaCl adalah sebagai berikut : (*Reference 10, Page 9*)



Reaksi elektrolisis larutan garam NaCl menghasilkan gelembung gas H_2 dan ion OH^- (basa) di katoda serta gelembung gas Cl_2 di anoda. Terbentuknya ion OH^- pada katoda dapat dibuktikan dengan perubahan warna larutan dari bening menjadi merah muda setelah diberi sejumlah indikator fenolftalein (pp). Dengan demikian, terlihat bahwa produk elektrolisis lelehan umumnya berbeda dengan produk elektrolisis larutan.

Jenis Larutan	Sifat dan Pengamatan Lain	Contoh Senyawa	Reaksi Ionisasi
Elektrolit Kuat	- Terionisasi sempurna	NaCl	$\text{NaCl} \longrightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$
	- Menghantarkan arus listrik	NaOH	$\text{NaOH} \longrightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^-$
		H_2SO_4	
	- Lampu menyala terang	HCl	$\text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$
	- Terdapat gelembung gas	KCl	
			$\text{HCl} \longrightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$ $\text{KCl} \longrightarrow \text{K}^+ + \text{Cl}^-$

*Gambar 2.5 Elektrolit Kuat
(Reference 10, page 15)*

B. Elektrolit Lemah

Elektrolit lemah adalah senyawa yang terionisasi sebagian dalam air. Pada larutan elektrolit lemah, ion – ion akan membentuk kesetimbangan dengan molekul yang tak terdisosiasi. Karena hanya sebagian yang terdisosiasi, maka jumlah ion pada volume tertentu larutan akan sama pada perubahan konsentrasi yang besar. Persamaan kimia ionisasi elektrolit lemah digunakan tanda panah ganda ($\rightleftharpoons$).

Elektrolit Lemah	- Terionisasi sebagian	CH_3COOH	
	- Menghantarkan arus listrik	NaOH	$\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow$
		HCN	$\text{H}^+ + \text{CH}_3\text{COOH}^-$
	- Lampu menyala redup	Al(OH)_3	$\text{HCN} \rightarrow \text{H}^+ + \text{CN}^-$
	- Terdapat gelembung gas		$\text{Al(OH)}_3 \rightarrow \text{Al}^{3+} + \text{OH}^-$

*Gambar 2.6 Elektrolit Lemah
(Reference 10, page 15)*

C. Non-elektrolit

Non-elektrolit biasanya adalah larutan yang tidak dapat menghantarkan listrik karena tidak adanya ion. Biasanya

senyawa non elektrolit adalah senyawa kovalen polar dan non polar yang mana terlarut dalam air sebagai molekul, bukan ion. Senyawa kovalen polar dan non polar yang mana terlarut dalam air sebagai molekul, bukan ion. Senyawa kovalen mempunyai ikatan kovalen antara atom yang berikatan, dengan demikian tidak dapat terionisasi pada larutan dan hanya membentuk molekul. Sebagai contoh gula dan alkohol dapat larut dalam air, tetapi hanya sebagai molekulnya saja.

Karakter elektrolit yang baik dalam elektrolisis lebih ditekankan pada mudah menghantarkan arus listrik serta karakter korosi yang dimilikinya. Dengan tujuan untuk meningkatkan konduktivitas larutan, elektrolit yang terdiri dari ion – ion dengan mobilitas tinggi secara umum digunakan di elektrolizer.

Pada umumnya proses elektrolisis yang dilakukan untuk menghasilkan gas oksigen dan hidrogen menggunakan larutan alkali. Larutan alkali yang umum adalah larutan NaOH dan KOH. Larutan tersebut merupakan elektrolit kuat yang dapat menghantarkan arus listrik dengan baik. Secara teoritis, pemberian potensial energi lebih dari 5V akan menghasilkan gas oksigen, gas hidrogen dan logam kalium.

Non Elektrolit	- Tidak terionisasi	$C_6H_{12}O_6$	$C_6H_{12}O_6$
	- Tidak menghantarkan arus listrik	$C_{12}H_{22}O_{11}$	$C_{12}H_{22}O_{11}$
		$CO(NH_2)_2$	$CO(NH_2)_2$
	- Lampu tidak menyala	C_2H_5OH	C_2H_5OH
	- Tidak terdapat gelembung gas		

*Gambar 2.7. Non Elektrolit
(Reference 10, page 15)*

2.4 Elektroda

Elektroda adalah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian atau media non-logam dari sebuah sirkuit (misal semikonduktor, elektrolit atau vakum). Ungkapan kata ini diciptakan oleh ilmuwan Michael Faraday dari Bahasa Yunani elektron (berarti amber, dan hodos sebuah cara).

Elektroda adalah suatu system dua fase yang terdiri dari sebuah penghantar elektrolit (misalnya logam) dan sebuah penghantar ionik (larutan). Elektroda positif (+) disebut anoda sedangkan elektroda negatif (-) adalah katoda. Reaksi kimia yang terjadi pada elektroda selama terjadinya konduksi listrik disebut elektrolisis dan alat yang digunakan untuk reaksi ini disebut sel elektrolisis. Sel elektrolisis memerlukan energi untuk memompa elektron.

Pada anoda terjadi reaksi oksidasi, yaitu anion (ion negatif) ditarik oleh anoda sehingga jumlah elektronnya berkurang atau bilangan oksidasinya bertambah.

Jika elektroda inert (Pt, C, dan Au) ada 3 macam reaksi :

1. Jika anion sisa asam oksi (misalnya NO_3^- , SO_4^{2-}), maka reaksinya $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}^+ + \text{O}_2 + 4\text{e}$
2. Jika anionnya OH^- , maka reaksinya $4\text{OH}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e}$
3. Jika anionnya berupa halida (F^- , Cl^- , Br^-), maka reaksinya adalah $2\text{X} (\text{halida}) \rightarrow \text{X} (\text{halida})_2 + 2\text{e}$

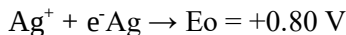
2.4.1 Jenis Elektroda

Jenis elektroda terbagi menjadi empat bagian diantaranya :

A. Elektroda order pertama

Pada elektroda ini ion analit berpartisipasi langsung dengan logamnya dalam suatu reaksi paruh yang dapat dibalik.

Beberapa logam seperti Ag, Hg, Cu dan Pb dapat bertindak sebagai elektroda indicator bila bersentuhan dengan ion mereka.



Pada reaksi sebelumnya, potensial sel berubah ubah menurut besarnya aktivitas ion perak (Ag^+). Sesuai dengan persamaan.

B. Elektroda order kedua

Ion-ion dalam larutan tidak bertukar elektron dengan elektroda logam secara langsung, melainkan konsentrasi ion logam yang bertukar elektron dengan permukaan logam. Elektroda ini bekerja sebagai elektroda referensi tetapi memberikan respon ketika suatu elektroda indikator berubah nilai α_x -nya (misalkan KCl jenuh berarti $x=\text{Cl}$).

C. Elektroda order ketiga

Elektroda jenis ini dipergunakan sebagai elektroda indikator dalam titrasi EDTA potensiometrik dari 29 ion logam. Elektrodanya sendiri berupa suatu tetapan atau genangan kecil raksa dalam suatu cangkir pada ujung tabung-J dengan suatu kawat sirkuit luar.

D. Elektroda inert

Elektroda Inert merupakan elektroda yang tidak masuk ke dalam reaksi. Contohnya adalah platina (Pt), emas (Aurum/Au), dan karbon (C). Elektroda ini bekerja baik sebagai elektroda indikator. Fungsi logam Pt adalah membangkitkan kecenderungan sistem tersebut dalam mengambil atau melepaskan elektron, sedangkan logam itu tidak ikut secara nyata dalam reaksi redoks.

2.4.2 Baja Tahan Karat

Baja tahan karat atau lebih dikenal dengan Stainless Steel adalah senyawa besi yang mengandung setidaknya 10,5% kromium untuk mencegah proses korosi (pengkaratan logam). Lima golongan utama Stainless Steel adalah Austenitic,

Ferritic, Martensitic, Duplex dan Precipitation Hardening Stainless Steel. Pada rancang bangun ini kami menggunakan Austenitic Stainless Steel (grade standar untuk 304) karena Austenitic cocok dipakai untuk aplikasi suhu rendah disebabkan unsur Nickel membuat Stainless Steel tidak menjadi rapuh pada temperatur rendah. Austenitic Stainless Steel mengandung sedikitnya 16% Chrom dan 6% Nickel. Kandungan kromium tersebut berfungsi untuk mencegah terjadinya korosi pada plat tersebut. Pada penelitian ini Stainless Steel yang dipakai dibuat dalam bentuk lempengan supaya luas permukaan plat yang digunakan untuk menghantarkan listrik semakin besar sehingga suplai arus listrik dapat bekerja dengan baik.



*Gambar 2.8. Stainless Steel
(Reference 12)*

2.4.3 Aluminium

Aluminium ialah unsur kimia. Lambang aluminium ialah *Al* dan nomor atomnya 13. Aluminium ialah logam paling berlimpah. Aluminium bukan merupakan jenis logam berat, namun merupakan elemen yang berjumlah sekitar 8% dari permukaan bumi dan paling berlimpah ketiga. Aluminium terdapat dalam penggunaan aditif makanan, antasida, buffered aspirin, astringents, semprotan hidung, antiperspirant, air minum, knalpor mobil, asap

tembakau, penggunaan aluminium foil, peralatan masak, kaleng, keramik, dan kembang api.

Aluminium merupakan konduktor listrik yang baik. Ringan dan kuat. Merupakan konduktor yang baik juga buat panas. Dapat ditempa menjadi lembaran, ditarik menjadi kawat dan diekstrusi menjadi batangan dengan bermacam – macam penampang. Tahan korosi.

Aluminium digunakan dalam banyak hal. Kebanyakan darinya digunakan dalam kabel bertegangan tinggi. Juga secara luas digunakan dalam bingkai jendela dan bahan pesawat terbang. Ditemukan di rumah sebagai panci, botol minuman ringan, tutup botol susu, dsb.



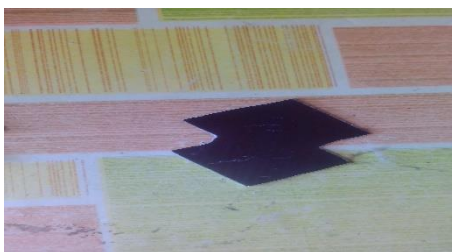
*Gambar 2.9. Aluminium
(Reference 11)*

2.4.4 Besi

Besi adalah unsur kimia dengan symbol *Fe* (dari Bahasa latin : ferrum) dan nomor atomnya 26. Merupakan logam dalam deret transisi pertama. Ini adalah unsur paling umum di bumi berdasarkan massa, membentuk sebagian besar bagian inti luar dan dalam bumi. Besi adalah unsur keempat terbesar dari kerak bumi. Unsur besi terdapat dalam meteorit dan lingkungan rendah oksigen

lainnya, tetapi reaktif dengan oksigen dan air. Permukaan besi segar tampak berkilau abu – abu keperakan, tetapi teroksidasi dalam udara normal menghasilkan besi oksida hidrat, yang dikenal sebagai karat. Tidak seperti logam lain yang membentuk lapisan oksida pasivasi, oksida besi menempati lebih banyak tempat daripada logamnya sendiri dan kemudian mengelupas, mengekspos permukaan segar untuk korosi.

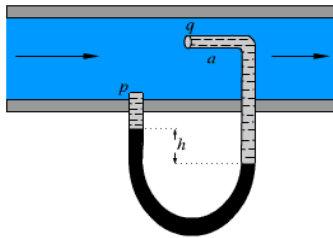
Senyawa kimia besi memiliki banyak manfaat. Besi oksida dicampur dengan besi serbuk aluminium dapat dipantik untuk membuat reaksi termit, yang digunakan dalam pengelasan dan pemurnian biji. Besi membentuk senyawa biner dengan halogen dan kalsogen. Senyawa organologamnya antara lain ferosen, senyawa sandwich pertama yang ditemukan. Besi memiliki peranan penting dalam biologi, membentuk kompleks dengan oksigen molekuler dalam hemoglobin dan myoglobin, kedua senyawa ini adalah protein pengangkut oksigen dalam vertebrata.



*Gambar 2.10 Besi
(Reference 12)*

2.5 Pengukuran Laju Bahan Bakar Gas Hidrogen

Laju bahan bakar gas dapat diukur dengan menggunakan alat ukur bernama pitot tube. Dengan mengukur tekanan yang akan terjadi pada sisi muka dan belakang pitot flow meter akan diperoleh laju alirannya, seperti pada skema gambar sebagai berikut :



Gambar 2.11. Pitot Tube

Berdasarkan gambar diatas maka laju aliran massa actual dari bahan bakar gas hidrogen adalah :

Perhitungan laju aliran massa (m) pada hidrogen. (*Reference 1, page 29*)

- Persamaan Bernoulli

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + g z = \frac{P_0}{\rho} + \frac{V_0^2}{2} + g z$$

$$\frac{P_0 - P_1}{\rho} = \frac{V_1^2}{2}$$

$$P_0 - P_1 = \frac{1}{2} \times \rho \times V_1^2$$

$$V = \sqrt{\frac{2 (P_0 - P_1)}{\rho_{hydrogen}}}$$

$P_0 - P_1$,didapat dengan pitot

Maka,

$$P_0 - P_1 = \rho_{cairan\ ukur} \times g \times h$$

$$V = \sqrt{\frac{2 (\rho_{\text{cairan ukur}} \times g \times h)}{\rho_{\text{hydrogen}}}}$$

Perhitungan massa jenis bahan bakar (ρ_{tpg})

- Hitung tekanan statis bahan bakar (P_{st})

$$P_{\text{st}} = P_1 + 1 \text{ Atm}$$

- Persamaan gas ideal

$$P V = m R T$$

$$P V = m R T$$

$$\text{_____} : m$$

$$v = V / m$$

$$P v = R T$$

$$\text{Dimana, } v = 1 / \rho$$

Maka,

$$\rho_{\text{tpg}} = \frac{P}{R.T}$$

Kecepatan rata2 ($\bar{U}$)

- Mencari reynold Number

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$$

Kecepatan rata – rata ($\bar{U}$) aliran laminar

$$\bar{U} = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi R^2} = -\frac{R^2}{8\mu} \left(\frac{\delta p}{\delta x} \right)$$

$$U = U_{\text{max}} = -\frac{R^2}{4\mu} \left(\frac{\delta p}{\delta x} \right) = 2 \bar{U}$$

$$U = U_{max} = 2 \bar{U}$$

Maka,

$$\bar{U} = \frac{1}{2} U_{max}$$

Kecepatan rata-rata ($\bar{U}$) untuk aliran turbulent

$$\frac{\bar{U}}{V} = \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)}$$

$$\bar{U} = \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)} U_{max}$$

Dimana :

$$n = -1,7 + 1,8 \log Re$$

- Kapasitas laju aliran fluida gas LPG (Q)

$$Q = V \times A$$

Keterangan :

$$Q = \text{Kapasitas laju aliran fluida gas LPG } \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$A = \text{Luas penampang selang gas LPG (m}^2\text{)}$$

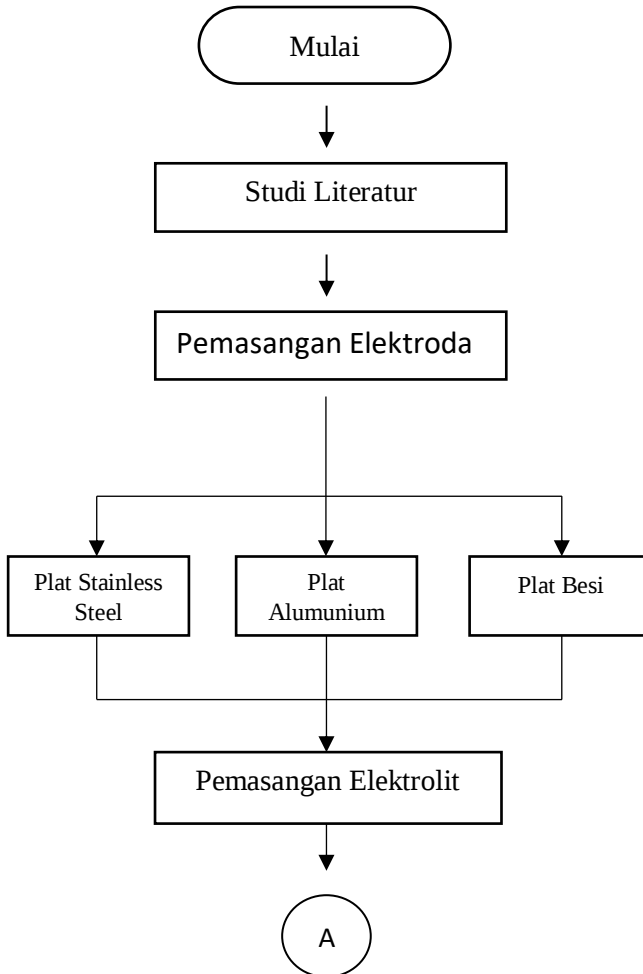
Mencari laju aliran massa gas LPG ($\dot{m}$)

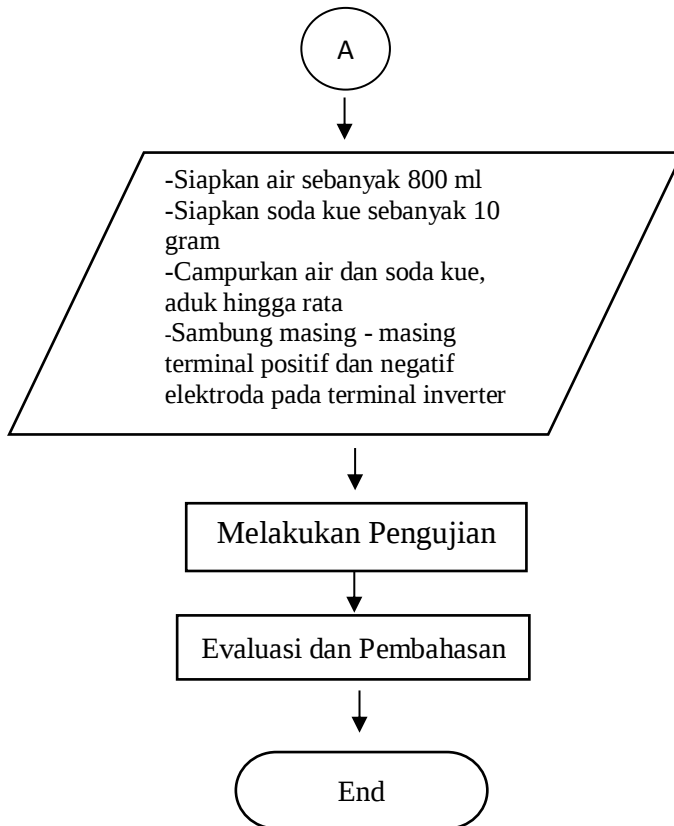
$$\dot{m} = Q \times \rho_{lpg}$$

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Pengujian





Gambar 3.1. Diagram Alir Pengujian

3.2 Penelitian

Tujuan penelitian Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui unjuk kerja dari prototype HHO (Hidrogen Oxy Generator) dengan 3 variasi jenis elektroda. Elektroda yang digunakan yaitu, plat stainless steel, plat besi, dan plat alumunium. Metode yang dilakukan dengan cara menghitung laju aliran massa pada output alat HHO.

3.3 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Lingkungan Kampus Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Kampus Sukolilo Surabaya.

3.4 Peralatan Percobaan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. 2 tabung bekas filter isi ulang, sebagai generator dan bubbler



Gambar 3.2. Tabung Filter

2. Plat stainless steel, digunakan sebagai elektroda karena mempunyai sifat tahan karat. Pemilihan material pada HHO ini haruslah yang mempunyai sifat tahan karat, karena larutan asamnya kuat dan menyebabkan korosi. Stainless steel yang digunakan bertipe 304



Gambar 3.3. Rangkaian plat stainless less positif (+) dan negatif (-)

3. Plat besi, digunakan sebagai elektroda karena sifat nya yang dapat menghantar arus listrik. Agar proses elektrolisis dapat terjadi. Plat besi yang digunakan berasal dari limbah industri yang tidak terpakai lagi.



Gambar 3.4. Plat Besi

4. Plat Alumunium, digunakan sebagai elektroda karena sifat nya yang dapat menghantarkan listrik dan mempunyai sifat tahan karat yang lebih baik daripada besi. Alumunium digunakan juga karena sifatnya yang ramah lingkungan dan. Plat Alumunium ini didapat dari limbah pembuatan etalase yang sudah tidak terpakai.



Gambar 3.5. Plat Alumunium

5. Pipa, digunakan sebagai saluran gas karena dengan menggunakan pipa repair terhadap tabung filter (generator) menjadi mudah.



Gambar 3.6. Pipa

- Diameter : 26,14 mm ($\frac{3}{4}$ inch)
6. Kabel
- Jenis : Kabel Serabut AWG 12
($\varnothing=3,31\text{mm}$)



Gambar 3.7. Kabel

7. Multitester digital (AVO), digunakan sebagai alat pengukur tegangan, arus, dan hambatan. Semakin besar arus yang digunakan saat proses elektrolisis semakin banyak pula hidrogen yang dihasilkan.



Gambar 3.8. Multitester digital

8. Klem penjepit, digunakan untuk menjepit saluran dari tabung generator dan bubbler agar mencegah terjadinya kebocoran saat pengujian dilakukan.



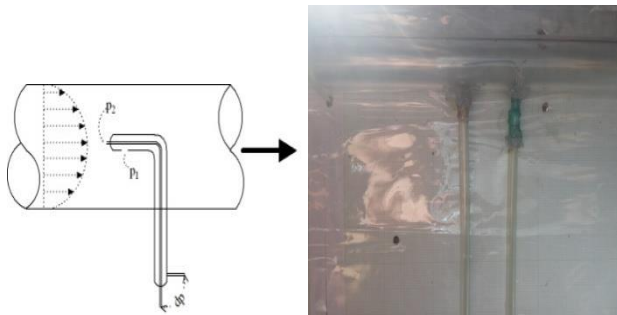
Gambar 3.9. Klem

9. Obeng (+) dan (-), untuk mengatur klem penjepit



Gambar 3.10. Obeng

10. Manometer Tabung Pipa U, digunakan untuk mengukur laju aliran massa pada output HHO generator. Cara kerjanya, yaitu dengan cara melihat perbedaan ketinggian di dua sisi selang tersebut. Pitot ini juga dipilih karena harganya yang cukup murah, mudah pemasangannya, dan ketelitiannya cukup tinggi diantara alat ukur aliran jenis flowmeter.



Gambar 3.11. Manometer tabung pipa U

11. Air, sebagai senyawa utama yang akan diurai menjadi hidrogen melalui proses elektrolisis. Air yang digunakan sebanyak 800 ml.



Gambar 3.12. Air

12. Soda kue, sebagai katalis yaitu berfungsi untuk mempercepat reaksi pada saat proses elektrolisis. Soda kue yang digunakan sebanyak 10 gram.



Gambar 3.13. Soda kue

13. Bolt nut ukuran 8 mm, sebagai tempat dari elektroda stainless steel.



Gambar 3.14. Bolt nut

14. Mur ukuran 8mm, digunakan untuk mengencangkan plat agar tidak bergerak



Gambar 3.15. Mur

15. Skun lingkaran, sebagai terminal kabel dengan elektroda



Gambar 3.16. Skun lingkaran

16. Inverter, sebagai sumber listrik DC yang mengalir pada elektroda



Gambar 3.17. Inverter

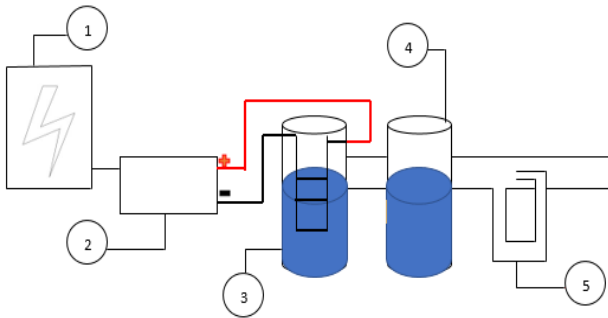
17. Accu, sebagai sumber listrik DC yang mengalir pada elektroda



Gambar 3.18. Accu

3.5 Instalasi Percobaan

Skema instalasi percobaan secara sederhana menggunakan bahan bakar hidrogen dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.19



Gambar 3.19. Skema Instalasi percobaan sederhana

Keterangan gambar 3.19. :

1. Listrik AC (Sumber)
2. Inverter
3. HHO Generator
4. Bubbler
5. Manometer Pipa U

Dan untuk skema instalasi percobaan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.20.



Gambar 3.20 Instalasi pengujian HHO

3.6 Bahan Bakar Uji

Bahan bakar pengujian yang digunakan dalam percobaan ini adalah gas HHO yang diproduksi oleh Generator HHO berasal dari air dicampur dengan soda kue sebagai katalis. Di bawah ini adalah ciri – ciri bahan bakar yang digunakan dalam pengujian :
(Reference 4, Page 34)

Tabel 3.1. Nilai massa jenis bahan bakar uji

Bahan Bakar yang Diuji	$\rho \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$
Gas Hidrogen	70,96

Tabel 3.2. Nilai low heating value bahan bakar uji

Bahan Bakar yang Diuji	LHV $\left(\frac{KJ}{Kg} \right)$
Gas Hidrogen	119,96

3.7 Prosedur Pengujian

Tahapan – tahapan pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Prosedur persiapan pengujian
 - a. Menyiapkan peralatan dan bahan.
 - b. Machining masing – masing elektroda yaitu, stainless steel, alumunium, dan besi.
 - c. Merangkai masing – masing elektroda menjadi 2 bagian kutub yaitu, kutub positif dan kutub negatif.
 - d. Satukan rangkaian elektroda pada positif dan negatif pada tabung generator.
 - e. Sambung masing – masing kutub pada terminal kabel.
 - f. Siapkan Soda kue sebanyak 10 gram.
 - g. Isi masing – masing tabung berisi air sebanyak 800 ml.
 - h. Siapkan Manometer Tabung Pipa U.
 - i. Pastikan gunakan sembugan yang cukup, jangan terlalu panjang agar meminimalisir losses.

2. Prosedur pengujian.
 - a. Masukkan soda kue 10 gram pada salah satu tabung yang akan dijadikan generator.
 - b. Aduk campuran air dengan soda kue hingga larut, pastikan tidak ada soda kue yang mengendap.
 - c. Masukkan rangkaian elektroda stainless steel, dan sambung pada kabel pada masing – masing kutubnya. Tutup rapat tabung generator.
 - d. Pastikan pada tabung generator tidak ada kebocoran.
 - e. Sambung tabung generator dengan tabung bubbler menggunakan pipa dan klem hingga rapat.

- f. Pastikan sambungan antara tabung generator dan tabung bubbler tidak terjadi kebocoran saat elektrolisis terjadi.
 - g. Sambung bagian sisi lain tabung bubbler dengan Manometer Tabung Pipa U menggunakan selang.
 - h. Cek kembali keseluruhan komponen, periksa kerapatannya dan pastikan agar tidak terjadi kebocoran.
 - i. Pasang inverter pada pusat listrik, sambung terminal positif inverter pada terminal positif elektroda, lakukan hal yang sama pada bagian kutub negatif.
 - j. Sambungkan terminal elektroda positif tabung generator dengan terminal positif inverter, lakukan hal yang sama pada kutub negatif tabung generator dan inverter.
 - k. Cek kembali keseluruhan sambungan, pastikan tersambung dengan benar.
 - l. Nyalakan saklar ON pada Inverter.
 - m. Mengukur laju aliran gas hidrogen pada output bubbler menggunakan tabung transparan manometer pipa U
 - n. Melihat dan mencatat perbedaan ketinggian yang terjadi pada tabung manometer pipa U
 - o. Percobaan yang sama dilakukan pada elektroda aluminium dan plat besi.
 - p. Untuk mendapatkan data – data yang valid, maka dilakukan pengulangan percobaan beberapa kali dengan variabel waktu yang sama
3. Prosedur setelah pengujian
 - a. Tekan tombol OFF pada saklar inverter
 - b. Tunggu hingga suhu tabung generator dingin
 - c. Lepaskan sambungan antara tabung generator dengan tabung bubbler

- d. Buka tabung generator jika larutan sudah terlihat kotor atau keruh
- e. Lepaskan rangkaian elektroda, dan bilas dengan air mengalir
- f. Isi ulang kembali larutan dengan takaran air dan katalis yang sama, jika ingin melakukan percobaan kembali

Dengan diperolehnya semua data yang diperlukan, maka akan dilakukan perhitungan laju aliran massa pada saluran output hho ini.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Setelah melakukan serangkaian pengujian unjuk kerja pada tabung generator HHO atau juga dikenal dengan nama *Oxyhydrogen*, yaitu alat yang digunakan untuk mengelektrolisis larutan asam (Air dan Soda Kue) bertujuan menghasilkan output Fuel Cells yang berupa hidrogen sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan. Selain itu juga dapat mengetahui laju aliran massa dari bahan bakar hidrogen melalui hasil pengukuran perbedaan ketinggian (H_{pitot}) manometer tabung U serta pembahasan reaksi kimia pada saat elektrolisis terjadi. Dalam pengujian ini terdapat 3 (tiga) variasi elektroda yang digunakan, yaitu elektroda plat stainless steel, aluminium, dan plat besi.

Untuk mempermudah perhitungan unjuk kerja dari data hasil pengujian. Beberapa data yang diperlukan untuk melakukan perhitungan adalah sebagai berikut :

Data cairan ukur

- | | |
|--|--|
| a. ρ_{hidrogen} | : $70,96 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ |
| b. $\rho_{\text{cairan ukur (Red Oil)}}$ | : $0,827 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ |

2. Data material yang digunakan

- | | |
|-----------|------------|
| a. Pipa | : 1.905 cm |
| b. Selang | : 1 cm |
| c. Tabung | : 1000 ml |

4.2 Perhitungan Laju Aliran Massa Bahan Bakar Gas Hidrogen

Dalam perhitungan ini menggunakan 3 variabel elektroda yang berbeda, yaitu plat stainless steel, tube aluminium, plat besi.

4.2.1 Perhitungan Laju Aliran Massa Gas Hidrogen Elektroda Stainless Steel

Perhitungan ini dilakukan saat tabung generator menyala atau sedang melakukan proses elektrolisis dalam kurun waktu 20 menit. Dengan perbandingan 800 ml air dan 10 gram katalis (soda kue).

Diketahui :

- a. $\rho_{\text{cairan ukur}}$: $0,827 \frac{Kg}{m^3}$
- b. Perbedaan ketinggian permukaan fluida
 Pada manometer pipa U (H_{pitot}) : 4 mm
- c. Diameter selang saluran : 10 mm
- d. Tekanan pada selang : 0,25 bar

Persamaan Bernoulli

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + g z = \frac{P_0}{\rho} + \frac{v_0^2}{2} + g z$$

$$\frac{P_0 - P_1}{\rho} = \frac{V_1^2}{2}$$

$$P_0 - P_1 = \frac{1}{2} \times \rho \times V_1^2$$

$$V = \sqrt{\frac{2 (P_0 - P_1)}{\rho_{\text{hidrogen}}}}$$

$P_0 - P_1$, didapat dengan pitot

Maka,

$$P_0 - P_1 = \rho_{\text{cairan ukur}} \times g \times h$$

$$V = \sqrt{\frac{2 (\rho_{\text{cairan ukur}} \times g \times h)}{\rho_{\text{hidrogen}}}}$$

A. Perhitungan Kecepatan

Maka,

$$V = \sqrt{\frac{2 (\rho_{\text{cairan ukur}} \times g \times h)}{\rho_{\text{hidrogen}}}}$$

$$V = \sqrt{\frac{2 (0,827 \frac{Kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 0,004m)}{70,96 \frac{Kg}{m^3}}}$$

$$V = 0,03 \frac{m}{s}$$

B. Mencari laju aliran massa gas hidrogen

$$\dot{m} = V \times A \times \rho_{\text{hidrogen}}$$

Diketahui : Luas penampang selang gas hidrogen (A) :
0,01 m²

Maka,

$$\begin{aligned} \dot{m} &= V \times A \times \rho_{\text{hidrogen}} \\ &= 0,03 \frac{m}{s} \times 0,01 \text{ m}^2 \times 70,96 \frac{Kg}{m^3} \\ &= 0,021 \frac{Kg}{s} \\ &= 77,3 \frac{Kg}{jam} \end{aligned}$$

Dari perhitungan yang dilakukan, diperoleh laju aliran massa elektroda stainless steel sebesar $77,3 \frac{Kg}{jam}$

4.2.2 Perhitungan Laju Aliran Massa Gas Hidrogen Elektroda Tube Aluminium

Perhitungan ini dilakukan saat tabung generator menyala atau sedang melakukan proses elektrolisis dalam kurun waktu 20 menit. Dengan perbandingan 800 ml air dan 10 gram katalis (soda kue).

Diketahui :

- a. $\rho_{\text{cairan ukur}}$: $0,827 \frac{Kg}{m^3}$
- b. Perbedaan ketinggian permukaan fluida
Pada manometer pipa U (H_{pitot}) : 3,5 mm
- c. Diameter selang saluran : 10 mm
- d. Tekanan pada selang : 0,25 bar

Persamaan Bernoulli

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + g z = \frac{P_0}{\rho} + \frac{v_0^2}{2} + g z$$

$$\frac{P_0 - P_1}{\rho} = \frac{V_1^2}{2}$$

$$P_0 - P_1 = \frac{1}{2} \times \rho \times V_1^2$$

$$V = \sqrt{\frac{2 (P_0 - P_1)}{\rho_{\text{hidrogen}}}}$$

$P_0 - P_1$, didapat dengan pitot

Maka,

$$P_0 - P_1 = \rho_{\text{cairan ukur}} \times g \times h$$

$$V = \sqrt{\frac{2 (\rho_{\text{cairan ukur}} \times g \times h)}{\rho_{\text{hidrogen}}}}$$

C. Perhitungan Kecepatan
Maka,

$$V = \sqrt{\frac{2 (\rho_{\text{cairan ukur}} \times g \times h)}{\rho_{\text{hidrogen}}}}$$

$$V = \sqrt{\frac{2 (0,827 \frac{Kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 0,0035m)}{70,96 \frac{Kg}{m^3}}}$$

$$V = 0,28 \frac{m}{s}$$

D. Mencari laju aliran massa gas hidrogen

$$\dot{m} = V \times A \times \rho_{\text{hidrogen}}$$

Diketahui : Luas penampang selang gas hidrogen (A) :
0,01 m²

Maka,

$$\begin{aligned} \dot{m} &= V \times A \times \rho_{\text{hidrogen}} \\ &= 0,28 \frac{m}{s} \times 0,01 \text{ m}^2 \times 70,96 \frac{Kg}{m^3} \\ &= 0,02 \frac{Kg}{s} \\ &= 72,2 \frac{Kg}{jam} \end{aligned}$$

Dari perhitungan yang dilakukan, diperoleh laju aliran massa elektroda tube aluminium sebesar $72,2 \frac{Kg}{jam}$

4.2.3 Perhitungan Laju Aliran Massa Gas Hidrogen Elektroda Plat Besi

Perhitungan ini dilakukan saat tabung generator menyala atau sedang melakukan proses elektrolisis dalam

kurun waktu 20 menit. Dengan perbandingan 800 ml air dan 10 gram katalis (soda kue).

Diketahui :

- a. $\rho_{\text{cairan ukur}}$: $0,827 \frac{Kg}{m^3}$
- b. Perbedaan ketinggian permukaan fluida
Pada manometer pipa U (H_{pitot}) : 1,2 mm
- c. Diameter selang saluran : 10 mm
- d. Tekanan pada selang : 0,25 bar

Persamaan Bernoulli

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + g z = \frac{P_0}{\rho} + \frac{v_0^2}{2} + g z$$

$$\frac{P_0 - P_1}{\rho} = \frac{V_1^2}{2}$$

$$P_0 - P_1 = \frac{1}{2} \times \rho \times V_1^2$$

$$V = \sqrt{\frac{2(P_0 - P_1)}{\rho_{\text{hidrogen}}}}$$

$P_0 - P_1$, didapat dengan pitot

Maka,

$$P_0 - P_1 = \rho_{\text{cairan ukur}} \times g \times h$$

$$V = \sqrt{\frac{2(\rho_{\text{cairan ukur}} \times g \times h)}{\rho_{\text{hidrogen}}}}$$

E. Perhitungan Kecepatan

Maka,

$$V = \sqrt{\frac{2 (\rho_{\text{cairan ukur}} \times g \times h)}{\rho_{\text{hidrogen}}}}$$

$$V = \sqrt{\frac{2 (0,827 \frac{Kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 0,0012m)}{70,96 \frac{Kg}{m^3}}}$$

$$V = 0,016 \frac{m}{s}$$

F. Mencari laju aliran massa gas hidrogen

$$\dot{m} = V \times A \times \rho_{\text{hidrogen}}$$

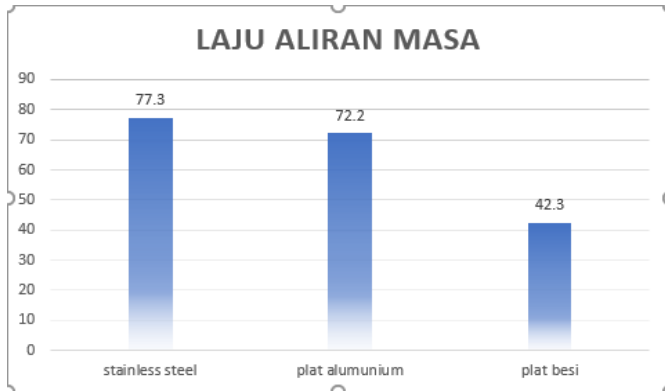
Diketahui : Luas penampang selang gas hidrogen (A) :
0,01 m²

Maka,

$$\begin{aligned} \dot{m} &= V \times A \times \rho_{\text{hidrogen}} \\ &= 0,016 \frac{m}{s} \times 0,01 \text{ m}^2 \times 70,96 \frac{Kg}{m^3} \\ &= 0,11 \frac{Kg}{s} \\ &= 42,3 \frac{Kg}{jam} \end{aligned}$$

Dari perhitungan yang dilakukan, diperoleh laju aliran massa elektroda plat besi sebesar $42,3 \frac{Kg}{jam}$

Jadi, ketiga elektroda yang dibandingkan diperoleh hasil sebagai berikut :



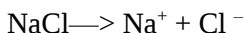
Gambar 4.1. Grafik Analisis Elektroda

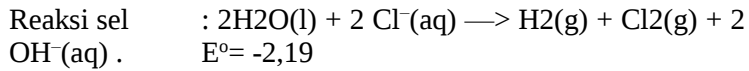
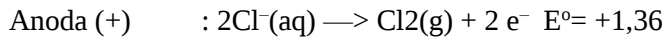
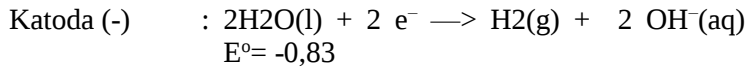
4.3 Perhitungan Reaksi Kimia Pada Elektrolisis HHO

Beberapa elektrolit seperti kalium klorida, natrium hidroksida, natrium nitrat terionisasi sempurna menjadi ion-ionnya dalam larutan. Elektrolit yang terionisasi sempurna disebut dengan elektrolit kuat. Dengan kata lain, elektrolit kuat terionisasi 100%.

Reaksi disosiasi elektrolit kuat ditulis dengan tanda anak panah tunggal ke kanan. Secara umum basa kuat seperti kalium hidroksida dan garam dan asam kuat seperti asam sulfat, asam nitrat, asam klorida adalah elektrolit kuat. Sebagai contoh :

Reaksi yang terjadi pada **elektrolisis larutan garam NaCl** adalah sebagai berikut :





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Laju aliran massa gas hidrogen yang paling besar terdapat pada elektroda stainless steel sebesar $77,3 \frac{Kg}{jam}$
2. Laju aliran massa gas hidrogen yang kedua terdapat pada elektroda tube aluminium sebesar $72,2 \frac{Kg}{jam}$
3. Laju aliran massa gas hidrogen yang ketiga terdapat pada elektroda plat besi sebesar $42,3 \frac{Kg}{jam}$

5.2 Saran

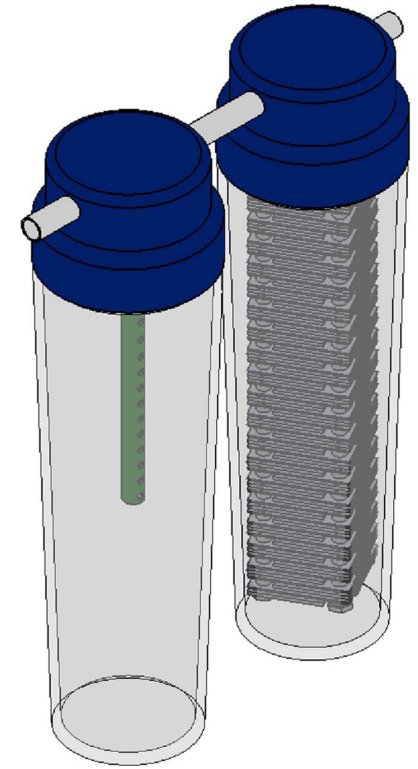
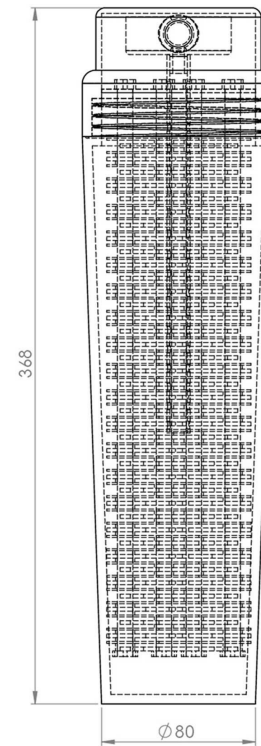
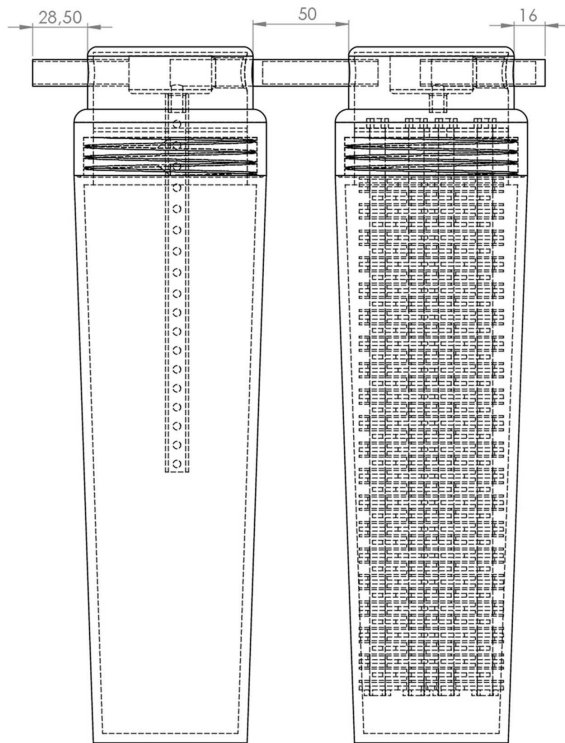
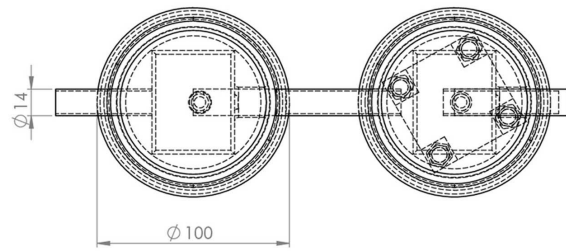
1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut tentang generator HHO ini untuk proses produksi yang lebih terjangkau dan ramah lingkungan.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai larutan elektrolit yang digunakan agar elektroda yang digunakan tidak cepat berkarat.
3. Perlu adanya plat netral di letakkan antara elektroda positif dan elektroda negatif agar generator tidak terlalu panas.
4. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai arus yang digunakan saat proses elektrolisis agar mendapatkan laju aliran massa yang lebih baik.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

1. Aji Damara. 2017. *Perhitungan Teoritis Karakteristik Mesin Mobil Fin Komodo KD 250 AT Dimodifikasi dari Bahan Bakar Bensin Menjadi Bahan Bakar Gas LPG*. Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
2. Anggun Angkasa, Ika Kusuma. 2016. *Analisa Performa Generator HHO Type Basah dengan Variasi Larutan Elektrolit dan Tegangan Listrik dalam Memproduksi Gas HHO Sebagai Bahan Bakar Alternatif*. Seminar Nasional Riset Terapan. Politeknik Negeri Banjarmasin.
3. Fox, Robert W; Mc Donald's, Alan T. 2010. *Introduction To Fluid Mechanics*, 8th edition. New York : John Wiley and Sons, inch
4. Iqbal Wahyudzin, 2013. *Pengembangan Generator Gas HHO Dry Cell dan Aplikasi Pada Kendaraan Bermesin 1800cc*. Jurusan Teknik Mesin, FTI, ITS
5. Nofriyandi. R., 2014. *Aplikasi Gas HHO Pada Sepeda Motor 150 Cc*. Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
6. Nurbudi Cahyono, Drs. Subagsono, M.T., Basori, S.Pd.,M.Pd., *Pengaruh Variasi Jumlah Plat Stainless Steel Dan Variasi Pemasangan Saluran Brown Gas Pada Elektroliser Terhadap Torsi Dan Daya Sepeda Motor Supra-X 125r Cw Tahun 2010*. Prodi. Pendidikan Teknik Mesin, Jurusan Pendidikan Teknik Kejuruan, FKIP, UNS.
7. <http://perpustakaanacyber.blogspot.com/2013/07/prinsip-cara-kerja-sel-elektrolisis.html>
8. <http://www.baixarmusicasonlines.com/mp3/elektrolisis-larutan-nacl-dengan-elektroda-cu.html>
9. <http://hho2u.blogspot.com/2012/08/worldwide-hho-dry-cell-wholesale.html>
10. <http://eprints.polsri.ac.id/2017/3/BAB%20BII.pdf>
11. <http://id.wikipedia.org/wiki/Elektrolit>
12. <https://id.wikipedia.org/wiki/StainlessSteel>
13. <https://id.wikipedia.org/wiki/Aluminium>

14. <https://id.wikipedia.org/wiki/Besi>



BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di kota Surabaya pada tanggal 05 Oktober 1997, dari pasangan Marjatno dan Bertha Oktavina Handayani. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Pendidikan yang pernah ditempuh adalah SDN Wonorejo 274, SMPN 17 Surabaya, SMAN 17 Surabaya.

Pada tahun 2015 Penulis diterima di Program Studi D3 Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 2115030092.

Manufaktur merupakan bidang studi yang dipilih penulis dan mengambil tugas dibidang Konversi Energi.

Selama kuliah, penulis aktif, dalam berorganisasi diantaranya sebagai staf divisi Electrical Basudewo 16/17 dan staf divisi Electrical and Propulsion System Nogogeni ITS Team 17/18. Untuk informasi tentang penulis, dapat melalui email bondanan55@gmail.com.