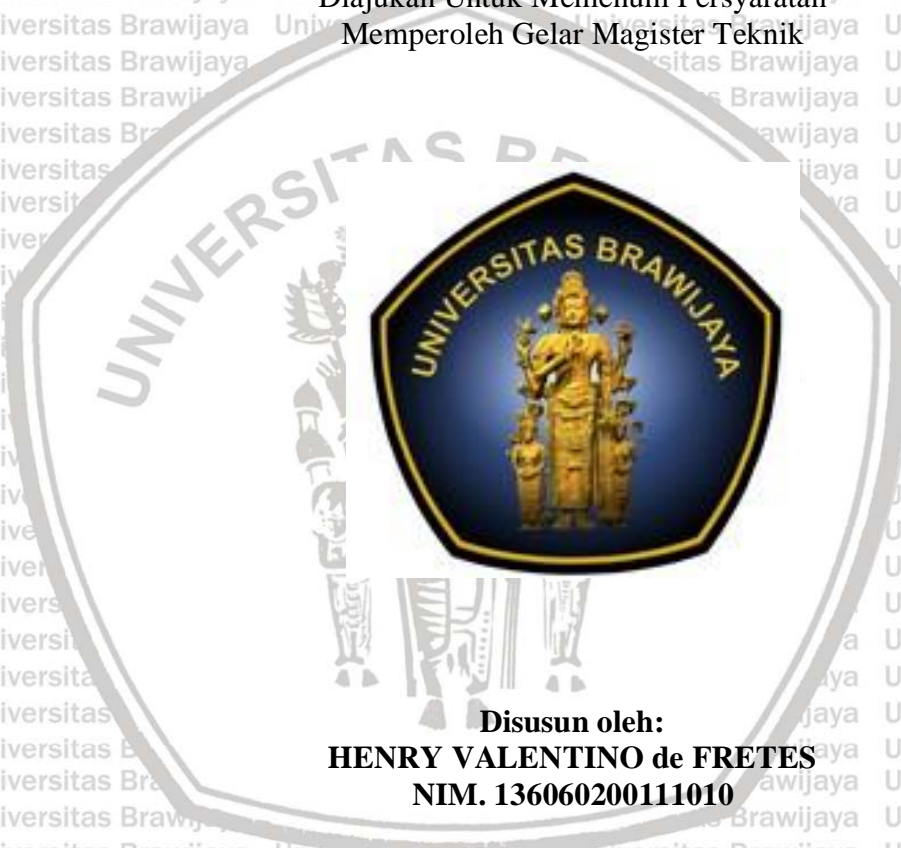


**PENGARUH VARIASI DIAMETER LUBANG DAN BENTUK
PROFIL ELEKTRODA SERTA JUMLAH PELAT NETRAL
TERHADAP PRODUKSI *BROWN GAS***

TESIS

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK MESIN
MINAT KONVERSI ENERGI**

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Magister Teknik



Disusun oleh:
HENRY VALENTINO de FRETES
NIM. 136060200111010

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018



JUDUL TESIS

PENGARUH VARIASI DIAMETER LUBANG DAN BENTUK PROFIL ELEKTRODA SERTA JUMLAH PELAT NETRAL TERHADAP PRODUKSI BROWN GAS

Nama Mahasiswa : Henry Valentino de Fretes
 Nim : 136060200111010
 Program Studi : S2 Teknik Mesin
 Minat : Konversi Energi
 Komisi Pembimbing
 Ketua : Prof. Ir. Sudjito Soeparman, PhD
 Anggota : Dr. Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST., MT
 Tim Penguji
 Dosen Penguji I : Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT
 Dosen Penguji II : Dr. Eng. Lilis Yuliati, ST., MT

Tanggal ujian : 05 Juli 2018

SK Penguji :

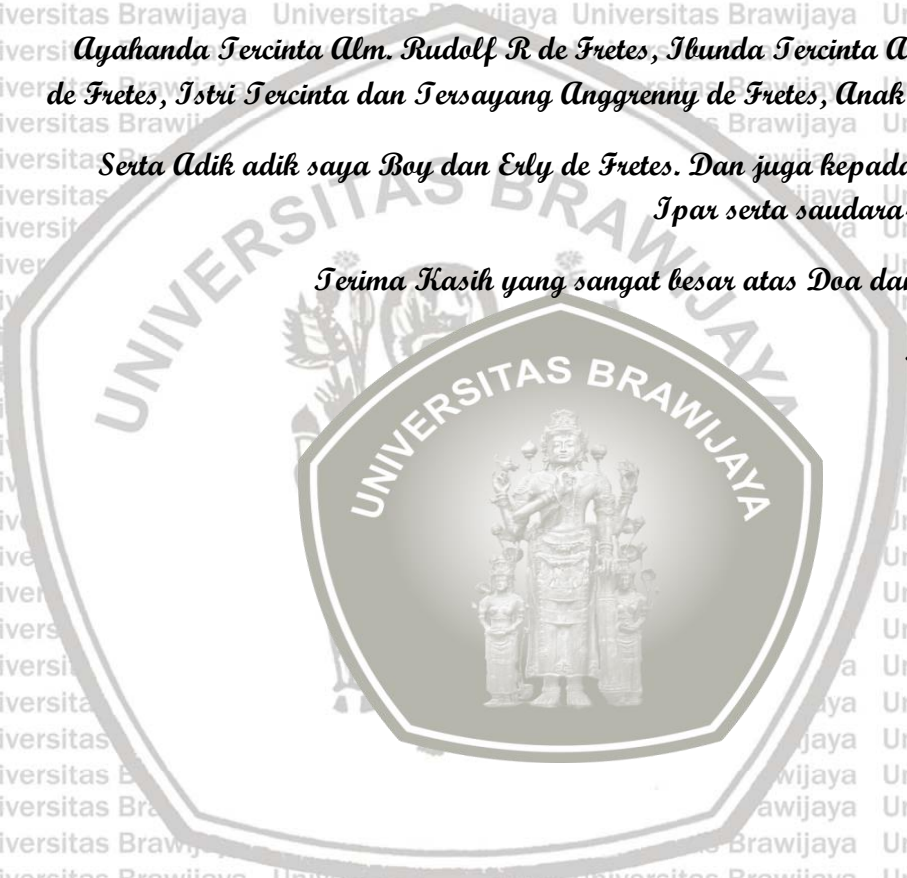
LEMBAR PERSEMBAHAN

*Tesis ini Kupersembahkan kepada
Ayahanda Tercinta Alm. Rudolf R de Fretes, Ibunda Tercinta Alm, Costansa F
de Fretes, Istri Tercinta dan Tersayang Anggrenny de Fretes, Anak Rico de Fretes,*

*Serta Adik adik saya Boy dan Erly de Fretes. Dan juga kepada Mertua saya,
Ipar serta saudara-saudara saya.*

Serima Kasih yang sangat besar atas Doa dan dorongannya.

Thanks God....

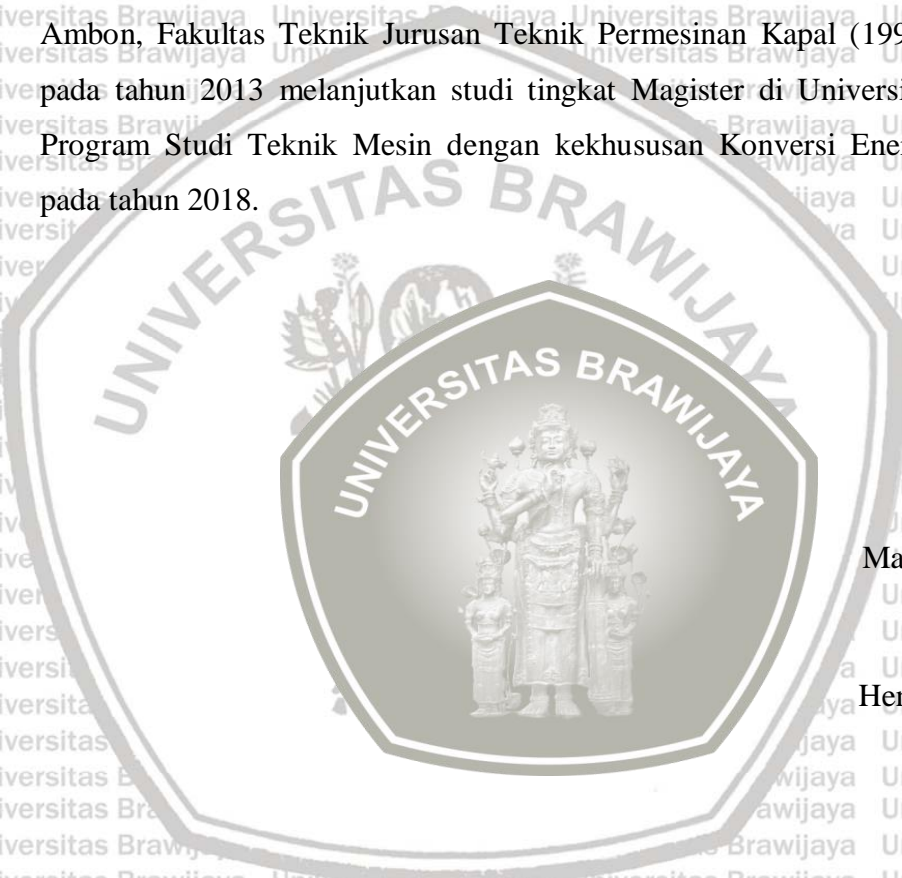


RIWAYAT HIDUP

Henry Valentino de Fretes, lahir di Ambon pada tanggal 20 November 1972. Putra pertama dari Alm. Bapak Rudolf R de Fretes dan Alm. Ibu Costansa F de Fretes. Pendidikan tingkat Sekolah Dasar di SD Negeri 11 Ambon (1979 – 1985), dan kemudian melanjutkan pada Sekolah Menengah Tingkat Pertama di SMP Negeri 1 Ambon (1985 – 1988), dan kemudian melanjutkan di SMA Negeri 2 Ambon (1988 – 1991). Mengikuti perkuliahan S1 di Universitas Pattimura Ambon, Fakultas Teknik Jurusan Teknik Permesinan Kapal (1993 -2001). Dan pada tahun 2013 melanjutkan studi tingkat Magister di Universitas Brawijaya, Program Studi Teknik Mesin dengan kekhususan Konversi Energi dan selesai pada tahun 2018.

Malang, Juli 2018

Henry V de Fretes



UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan memanjatkan Puji dan Syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa, Pengasih dan Penyayang sehingga saya dapat menyelesaikan hasil penulisan tesis ini dengan judul **“PENGARUH VARIASI DIAMETER LUBANG DAN BENTUK PROFIL ELEKTRODA SERTA JUMLAH PELAT NETRAL TERHADAP PRODUKSI *BROWN GAS*”**

Tesis ini dapat tersusun dan diselesaikan berkat bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah banyak membantu penulis, dan terlebih khusus kepada :

1. Kedua orang tua, Alm Bapak Rudolf R de Fretes dan Alm ibunda Costansa F de Fretes, yang telah memberikan motivasi tersendiri bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini.
2. Istri tercinta, Anggrenny de Fretes yang telah banyak membantu serta tetap setia mendukung saya untuk tetap kuat untuk menyelesaikan penulisan ini.
3. Bapak Prof. Ir. Sudjito Soeparman, PhD selaku Pembimbing Pertama dan Bapak Dr. Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST., MT selaku Pembimbing Kedua yang telah banyak meluangkan waktu untuk membimbing dan saran-saran yang sangat bermanfaat bagi saya demi terselesaikan penyusunan tesis ini.
4. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT selaku Penguji Pertama dan Ibu Dr. Eng. Lilis Yuliati, ST., MT selaku Penguji Kedua yang telah banyak memberikan saran yang bermanfaat bagi saya.
5. Bapak Ir. Djarot B Darmadi, MT., PhD selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
6. Ibu Dr. Eng. Lilis Yuliati, ST., MT selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin, Universitas Brawijaya.
7. Rekan-rekan S2 Teknik Mesin Konversi Energi Angkatan 2013.

Malang, 07 Juli 2018

Penyusun

RINGKASAN

Henry Valentino de Fretes, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2018. Pengaruh Variasi Diameter Lubang Dan Bentuk Profil

Elektroda Serta Jumlah Pelat Netral Terhadap Produksi *Brown Gas*, Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Sudjito Soeparman, PhD. Dan Dr.Eng. Denny

Widhiyanuriyawan, ST., MT.

Sumber energi yang berasal dari bahan bakar fosil semakin lama akan habis, dengan demikian perlu dicari energi alternatif lain sebagai pengganti bahan bakar fosil. Elektrolisis merupakan salah satu cara untuk mengatasi ketergantungan bahan bakar fosil tersebut. Elektrolisis adalah proses penguraian molekul air (H_2O) menjadi hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2) dengan bantuan energi listrik sebagai pemicu untuk proses tersebut. Dalam proses elektroda dibutuhkan dua elektroda untuk ditempatkan dalam air. Reaksi elektrolisis adalah reaksi redoks, di mana reaksi reduksi terjadi pada katoda yang membentuk hidrogen dan oksidasi terjadi pada anoda dan membentuk oksigen. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi dalam diameter lubang elektroda, bentuk elektroda dan jumlah pelat netral pada produksi Alis Gas dengan menggunakan NaOH sebagai katalis. Elektroda yang digunakan adalah polos, kotak, lingkaran dan bentuk silang, dan diameter lubang elektroda adalah 5 mm, 8 mm, 10 mm dan 12 mm. selain itu jumlah plat netral bervariasi 4 buah, 6 buah dan 8 buah. NaOH yang dilarutkan dalam air memiliki persentase 1,77%.

Dari hasil penelitian ditemukan bahwa laju produksi meningkat karena jumlah pelat netral meningkat dan daya yang dibutuhkan oleh generator juga meningkat, tetapi efisiensi generator lebih kecil. Diameter lubang elektroda dan bentuk elektroda juga memengaruhi produksi gas Brown, hal ini karena luas penampang elektroda yang bersentuhan dengan elektrolit juga memiliki nilai yang berbeda.

Nilai produktivitas tertinggi pada elektroda bentuk silang, diameter lubang elektroda 10 mm dan jumlah pelat netral 8 buah, dan terendah dalam bentuk elektroda polos, diameter lubang 5 mm, dan 4 pelat netral. Efisiensi generator terendah dalam variasi elektroda adalah bentuk lingkaran, diameter lubang

elektroda adalah 12 mm dan penggunaan 8 pelat netral dan terbesar di elektroda persegi, diameter lubang elektroda 12 mm, dan 4 pelat netral

Kata kunci: Elektrolisis, Brown Gas, Pelat netral



SUMMARY

Henry Valentino de Fretes, Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, July 2018, Effect of Variations in Hole Diameter and Electrode Profile and Number of Neutral Plates on Brown Gas Production, Supervisor: Prof. Ir. Sudjito Soeparman, PhD. And Dr.Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST., MT.

The source of energy derived from fossil fuels will run out longer, thus other alternative energy needs to be sought as a substitute for fossil fuels. Electrolysis is one way to overcome the dependence of fossil fuels. Electrolysis is a process of decomposing water molecules (H_2O) into hydrogen (H_2) and oxygen (O_2) with the help of electrical energy as a trigger for the process. In the electrode process it takes two electrodes to be placed in water. Electrolysis reaction is a redox reaction, in which the reduction reaction occurs at the cathode forming hydrogen and oxidation occurs at the anode and forms oxygen. The purpose of this study was to determine the effect of variations in the diameter of the electrode hole, the shape of the electrode and the number of neutral plates on the production of Brown Gas by using NaOH as a catalyst. The electrodes used are plain, square, circle and cross shape, and the diameter of the electrode hole is 5 mm, 8 mm, 10 mm and 12 mm. besides that the number of neutral plates varied 4 pieces, 6 pieces and 8 pieces. NaOH dissolved in water has a percentage of 1.77%. From the results of the study it was found that the rate of production increased as the number of neutral plates increased and the power needed by the generator also increased, but the efficiency of the generator was smaller. The diameter of the electrode hole and the shape of the electrode also affect Brown gas production, this is because the electrode cross-sectional area in contact with the electrolyte also has different values. The highest productivity value on cross shape electrode, 10 mm electrode hole diameter and the number of neutral plate 8 pieces, and the lowest in the form of plain electrode, 5 mm hole diameter and 4 neutral plates. The lowest generator efficiency in the electrode variation is circular

shape, the diameter of the electrode hole is 12 mm and the use of 8 neutral plates and the largest in the square electrode, 12 mm electrode hole diameter and 4 neutral plates.

Keywords: Electrolysis, Brown Gas, Neutral plates



KATA PENGANTAR

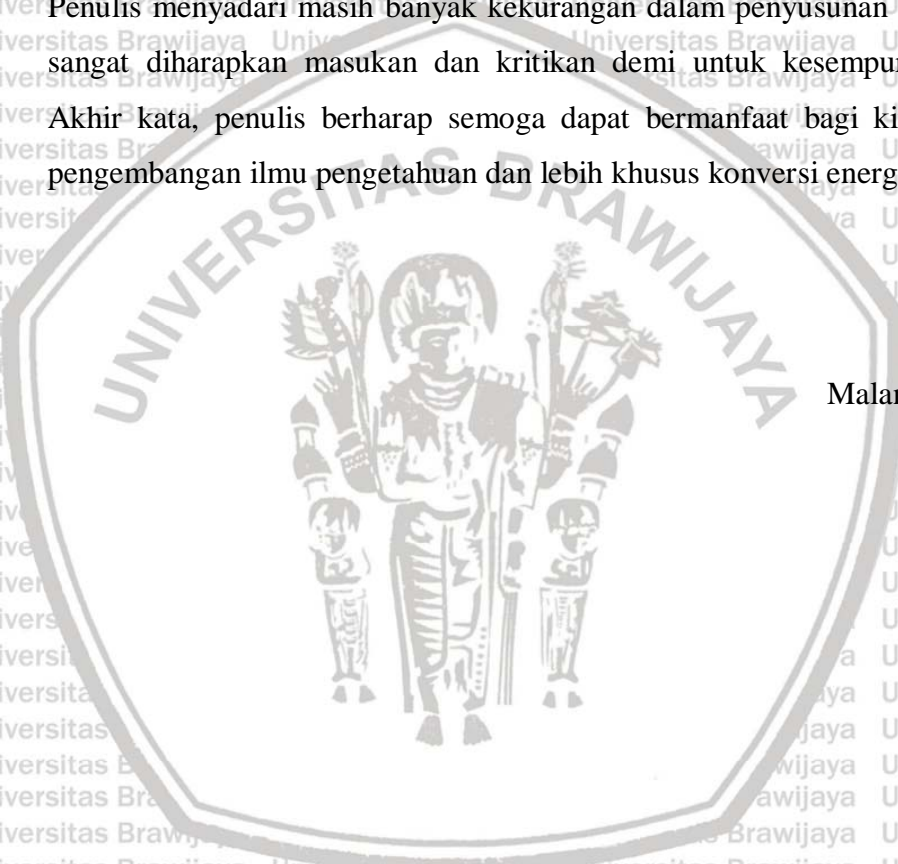
Puji dan syukur saya panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Kuasa atas berkah dan tuntunan serta perlindunganNya penulis dapat menyelesaikan tesis ini yang berjudul “ **Pengaruh Variasi Diameter Lubang Dan Bentuk Profil Elektroda Serta Jumlah Pelat Netral Terhadap Produksi *Brown Gas*** “. Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan Tesis ini, maka sangat diharapkan masukan dan kritikan demi untuk kesempurnaan tesis ini.

Akhir kata, penulis berharap semoga dapat bermanfaat bagi kita semua demi pengembangan ilmu pengetahuan dan lebih khusus konversi energi.

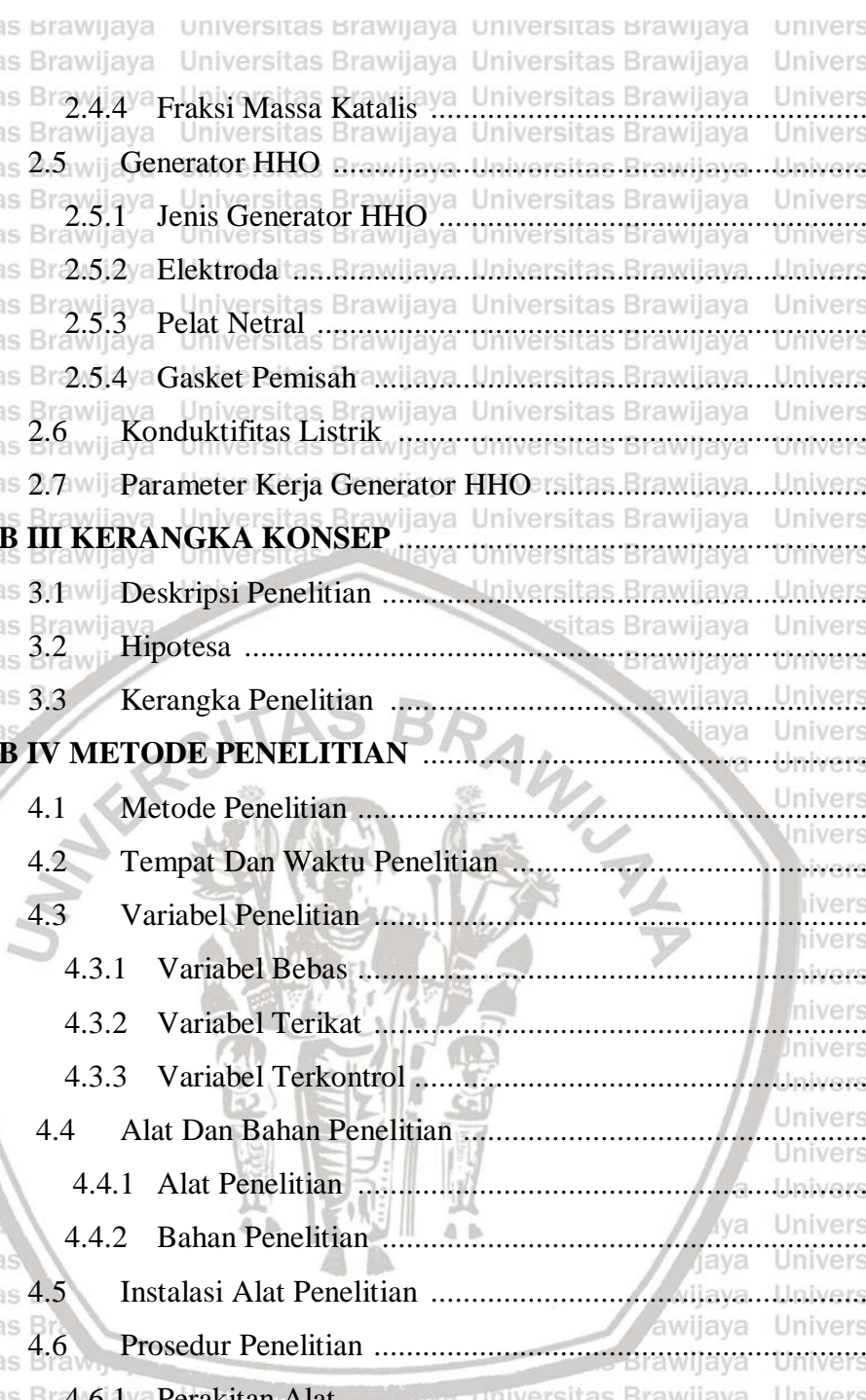
Malang, 07 Juli 2018

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
IDENTITAS PEMBIMBING DAN PENGUJI TESIS	iii
PERNYATAA ORISINALITAS TESIS	iv
PERSEMBAHAN	v
RIWAYAT HIDUP	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	x
KATA PENGANTAR	xii
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
LAMPIRAN	
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penulisan	3
1.5 Manfaat Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 Air	7
2.2.1 Hidrogen	8
2.2.2 Oksigen	9
2.3 <i>Brown Gas</i>	10
2.4 Elektrolisis Air	10
2.4.1 Larutan Elektrolisis	11
2.4.2 Katalisator	11
2.4.3 NaOH	12
	xiii



2.4.4	Fraksi Massa Katalis	13
2.5	Generator HHO	13
2.5.1	Jenis Generator HHO	13
2.5.2	Elektroda	15
2.5.3	Pelat Netral	16
2.5.4	Gasket Pemisah	16
2.6	Konduktifitas Listrik	16
2.7	Parameter Kerja Generator HHO	18
BAB III KERANGKA KONSEP		21
3.1	Deskripsi Penelitian	21
3.2	Hipotesa	22
3.3	Kerangka Penelitian	23
BAB IV METODE PENELITIAN		25
4.1	Metode Penelitian	25
4.2	Tempat Dan Waktu Penelitian	25
4.3	Variabel Penelitian	25
4.3.1	Variabel Bebas	25
4.3.2	Variabel Terikat	25
4.3.3	Variabel Terkontrol	26
4.4	Alat Dan Bahan Penelitian	26
4.4.1	Alat Penelitian	26
4.4.2	Bahan Penelitian	34
4.5	Instalasi Alat Penelitian	34
4.6	Prosedur Penelitian	35
4.6.1	Perakitan Alat	35
4.6.2	Pelaksanaan Penelitian	36
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		39
5.1	Analisa Data	39
5.2	Perhitungan Data	42
5.2.1	Perhitungan Daya Generator HHO	42
5.2.2	Perhitungan Produktifitas <i>Brown Gas</i>	47
5.2.3	Perhitungan Efisiensi Generator HHO	49

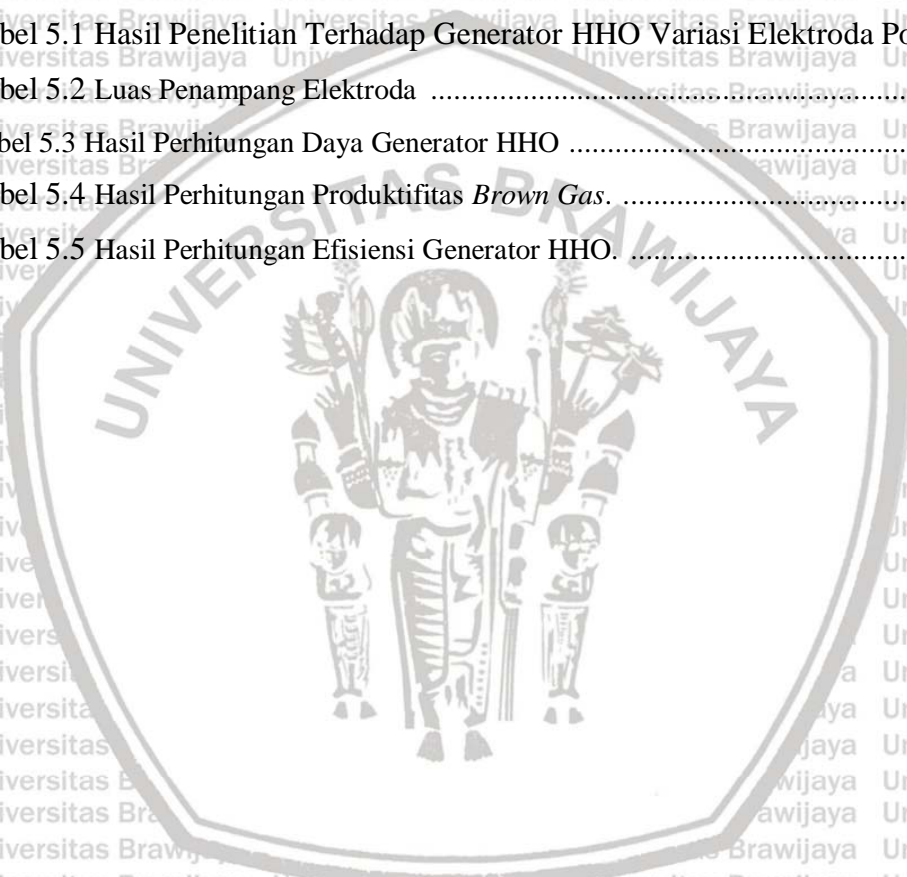


BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	53
6.1 Kesimpulan	53
6.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat Fisika Hidrogen	8
Tabel 2.2	Sifat Kimia Hidrogen	9
Tabel 2.3	Sifat Fisika NaOH	12
Tabel 2.4	Komposisi Material <i>Stainless Steel</i>	15
Tabel 5.1	Hasil Penelitian Terhadap Generator HHO Variasi Elektroda Polos	39
Tabel 5.2	Luas Penampang Elektroda	42
Tabel 5.3	Hasil Perhitungan Daya Generator HHO	44
Tabel 5.4	Hasil Perhitungan Produktifitas <i>Brown Gas</i>	47
Tabel 5.5	Hasil Perhitungan Efisiensi Generator HHO	50



DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Ikatan Antar Molekul Air	8
Gambar 2.2	Struktur Atom Oksigen	10
Gambar 2.3	Elektrolisis Air	11
Gambar 2.4	Generator HHO tipe <i>Dry Cell</i>	14
Gambar 2.5	Generator HHO tipe <i>Wet Cell</i>	14
Gambar 4.1	Susunan Generator HHO	26
Gambar 4.2	<i>Assembly komponen electrolyser HHO</i>	27
Gambar 4.3	<i>O-Ring seal</i> dengan ketebalan 1.5 mm dan 3 mm	27
Gambar 4.4	bentuk polos diameter lubang 5, 8, 10, 12 mm	28
Gambar 4.5	Elektroda bentuk silang diameter lubang 5, 8, 10, 12 mm	28
Gambar 4.6	Elektroda bentuk lingkaran diameter lubang 5, 8, 10, 12 mm	29
Gambar 4.7	Elektroda bentuk persegi diameter lubang 5, 8, 10, 12 mm	29
Gambar 4.8	Pelat Netral	29
Gambar 4.9	Akrilik Bening	30
Gambar 4.10	Inverter	30
Gambar 4.11	Multimeter Digital	30
Gambar 4.12	Stopwatch	31
Gambar 4.13	Arduino Nano dan Sensor Suhu	31
Gambar 4.14	Timbangan Digital	32
Gambar 4.15	Rancangan Instalasi Tabung Ukur Volume HHO	33
Gambar 4.16	Tabung Ukur Volume HHO	34
Gambar 4.17	Katalis NaOH	34
Gambar 4.18	Instalasi Alat Penelitian	35
Gambar 4.19	Diagram Alir Penelitian	38
Gambar 5.1	Sketsa Bentuk Elektroda	42
Gambar 5.2	Na ⁺ Yang Menempel Pada Elektroda	43
Gambar 5.3	Variasi Elektroda Usai Proses Elektrolisis	44
Gambar 5.4	Grafik Hubungan Diameter Lubang Elektroda Terhadap Daya Yang Diperlukan Generator HHO Pada Berbagai Variasi Jumlah Pelat Netral Dengan bentuk Elektroda Polos	45

Gambar 5.5 Grafik Hubungan Diameter Lubang Elektroda Terhadap Daya Yang Diperlukan Generator HHO Pada Berbagai Variasi Jumlah Pelat Netral Dengan bentuk Elektroda Persegi	45
Gambar 5.6 Grafik Hubungan Diameter Lubang Elektroda Terhadap Daya Yang Diperlukan Generator HHO Pada Berbagai Variasi Jumlah Pelat Netral Dengan bentuk Elektroda Lingkaran	46
Gambar 5.7 Grafik Hubungan Diameter Lubang Elektroda Terhadap Daya Yang Diperlukan Generator HHO Pada Berbagai Variasi Jumlah Pelat Netral Dengan bentuk Elektroda Silang	46
Gambar 5.8 Grafik Hubungan Diameter Lubang Elektroda Terhadap Produktifitas <i>Brown Gas</i> Pada Berbagai Variasi Jumlah Pelat Netral Dengan Bentuk Elektroda Polos	47
Gambar 5.9 Grafik Hubungan Diameter Lubang Elektroda Terhadap Produktifitas <i>Brown Gas</i> Pada Berbagai Variasi Jumlah Pelat Netral Dengan Bentuk Elektroda Persegi	48
Gambar 5.10 Grafik Hubungan Diameter Lubang Elektroda Terhadap Produktifitas <i>Brown Gas</i> Pada Berbagai Variasi Jumlah Pelat Netral Dengan Bentuk Elektroda Lingkaran	48
Gambar 5.11 Grafik Hubungan Diameter Lubang Elektroda Terhadap Produktifitas <i>Brown Gas</i> Pada Berbagai Variasi Jumlah Pelat Netral Dengan Bentuk Elektroda Silang	49
Gambar 5.12 Grafik Hubungan Diameter Lubang Elektroda Terhadap Efisiensi Generator HHO Pada Berbagai Variasi Jumlah Pelat Netral Dengan Bentuk Elektroda Polos	50
Gambar 5.13 Grafik Hubungan Diameter Lubang Elektroda Terhadap Efisiensi Generator HHO Pada Berbagai Variasi Jumlah Pelat Netral Dengan Bentuk Elektroda Persegi	51
Gambar 5.14 Grafik Hubungan Diameter Lubang Elektroda Terhadap Efisiensi Generator HHO Pada Berbagai Variasi Jumlah Pelat Netral Dengan Bentuk Elektroda Lingkaran	51
Gambar 5.15 Grafik Hubungan Diameter Lubang Elektroda Terhadap Efisiensi Generator HHO Pada Berbagai Variasi Jumlah Pelat Netral Dengan Bentuk Elektroda Silang	52



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Energi merupakan salah satu sumber atau komponen utama terhadap kelangsungan hidup setiap makhluk hidup di bumi ini. Bertambahnya jumlah penduduk yang sangat cepat ini tentu saja berimbas terhadap kebutuhan suplai energi.

Suplai energi yang dimaksud dalam hal ini yaitu ketersediaan sumber sumber energi penunjang. Sumber energi yang kita kenal selama ini masih didominasi dan menjadi andalan yaitu bahan bakar fosil. Kita semua sudah mengetahui bahwa bahan bakar fosil termasuk sumber energi yang tidak dapat diperbaharui (*unrenewable*).

Bahan bakar yang berasal dari energi fosil tersebut memang dieksplorasi secara besar-besaran. Ini seiring dengan pesatnya pertambahan jumlah penduduk bumi. Terdapat beberapa kota atau nagara tertentu yang mengalami polusi udara sebagai akibat dari hasil pembakaran bahan bakar fosil. Sebagai contoh pembakaran dari pabrik dan kendaraan bermotor. Emisi gas buang yang dihasilkan dari pembakaran kendaraan bermotor tentu saja mengandung unsur yang berbahaya apabila tidak terkontrol. Seperti CO₂, CO, HC, serta partikel lain yang tidak terbakar sempurna (Siregar 2005).

Terdapat beberapa sumber energi lain yang bisa dimanfaatkan atau pengganti sumber bahan bakar fosil. Diantaranya sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) seperti yang berasal dari tumbuh-tumbuhan seperti jarak dll.

Air merupakan sumber energi utama yang sangat dibutuhkan setiap makhluk hidup demi kelangsungan hidup. Pembangkit listrik tenaga air (PLTA), merupakan suatu usaha manusia memanfaatkan sebagai sumber utama penggerak generator atau turbin yang dapat menghasilkan listrik. Air dapat juga dikatakan sebagai sumber bahan bahan bakar apabila sudah mengalami proses yang kita kenal dengan istilah elektrolisis. Elektrolisis sendiri merupakan proses penguraian unsur air (H₂O) dengan menggunakan arus listrik (Sebastian dkk, 2013). Dari hasil proses elektrolisis ini menghasilkan Gas dengan hydrogen dan oksigen

dengan komposisi 2 hidrogen dan 1 oksigen (HHO), gas oksihidrogen atau *Brown Gas*

Pemanfaatan dan pengaplikasian *Brown Gas* pada kendaraan bermotor dapat mengurangi jumlah emisi gas buang serta menambah daya kendaraan tersebut bila dibandingkan dengan hanya menggunakan bahan bakar bensin (Akbar dkk, 2014). Selain itu dapat mengurangi penggunaan bahan bakar sebesar 14,7% pada mobil 1.300 cc. (Wahyudzin, 2012)

Generator HHO merupakan sebuah alat yang dipergunakan dalam proses menghasilkan *Brown Gas* yang mana fungsi utama alat tersebut adalah mengelektrolisasi H₂O menjadi gas H₂ dan gas O₂. *Brown Gas* ini diambil dari nama seorang ilmuwan Australia, bernama Yull Brown yang berhasil mematenkan hasil penelitian tersebut atas namanya. Kemudian diteliti lagi oleh beberapa orang yang mengaplikasikan gas tersebut terhadap kendaraan bermotor, hal ini dikarenakan memiliki kadar oktan yang tinggi. (Sudarmanta, 2016)

Selain fungsi utama dari generator HHO (*Elektroliser*) yang memecah H₂O, generator ini juga dibagi menjadi 2 tipe yaitu tipe basah (*wet cell*) dan tipe kering (*dry cell*). (Sari dkk, 2016)

Penggunaan generator HHO tipe *dry cell* sering dipakai didalam penelitian terdahulu. Hal ini dikarenakan beberapa faktor diantaranya desain yang lebih mudah dan murah, instalasi yang singkat serta waktu yang dibutuhkan dalam menghasilkan *Brown Gas* yang lebih singkat. Berdasarkan beberapa penelitan terdahulu terdapat beberapa variasi yang berbeda – beda demi mendapatkan hasil yang maksimal. Arifin dkk, (2016) meneliti tentang pengaruh penggunaan plat netral *Stainless Steel 316* dan aluminium terhadap performa dan efektifitas dari generator HHO tipe kering. Kemudian Nugraha dkk (2016) meneliti tentang pengaruh jarak dari pelat elektroda dan didapatkan bahwa semakin rapat pelat plat elektroda tersebut maka produksi *Brown Gas* semakin baik. Penggunaan katalis NaOH berpengaruh mengurangi hambatan listrik sehingga produksi *Brown Gas* semakin besar. (Yilmaz dkk, 2010). Variasi tebal celah elektroda juga pada produksi tertinggi *Brown Gas*. Afif dkk, (2017) melakukan penelitian dengan menggunakan variasi 1.5, 1.8, 2 dan 3 terhadap

pelat elektroda alumunium, kuningan, tembaga dan stainless steel dan didapatkan hasil produksi tertinggi pada penggunaan bahan *stainless steel* celah elektroda 1.5 mm dan terendah adalah alumunium.

Berbagai uraian dari sebagian kecil hasil penelitian terdahulu dapat kita simpulkan bahwa banyak faktor yang mempengaruhi produksi *Brown Gas* dalam proses elektrolisis dengan media utama air, dan diantaranya pemilihan bahan logam berbeda sebagai elektroda kemudian katalis yang berbeda dan jarak celah antara elektroda dengan pelat netral serta jarak antara anoda dan katoda.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan berbagai uraian diatas maka dapat dirumuskan suatu permasalahan yaitu bagaimana pengaruh variasi diameter lubang, bentuk profil elektroda serta jumlah pelat netral terhadap produksi *Brown Gas* serta efisiensi Generator HHO.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini akan muncul beberapa masalah yang mungkin akan menimbulkan pertanyaan yang meluas. Dengan demikian perlu adanya batasan-batasan masalah agar tidak meluas. Batasan masalah yang dimaksudkan adalah :

1. Elektrolit yang dipakai larutan Natrium Hidroksida 1.77%.
2. Jenis logam yang dipakai sebagai elektroda, pelat netral dan pelat luar adalah *Stainless Steel* 304L.
3. Air yang digunakan sebagai media pembantu proses eletrolisis ini adalah air sumur.
4. Bahan logam yang digunakan dalam keadaan baik.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui seberapa besar pengaruh variasi pada bentuk dan diameter lubang elektroda serta jumlah pelat netral terhadap produksi *Brown Gas* pada generator HHO dengan tipe kering (*dry cell*).

1.5 Manfaat Penelitian

Tentu saja dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat :

1. Mengurangi ketergantungan masyarakat terhadap penggunaan bahan bakar minyak fosil seperti minyak tanah, bensin, solar dll.
2. Sebagai bahan masukan atau referensi bahan bagi mahasiswa lain yang ingin melakukan penelitian lanjut dengan topik yang sama di bidang konversi energi.
3. Kita lebih mengenal dan mengetahui apa itu *Brown Gas* (HHO) dan dapat diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya tentang *Brown Gas* (HHO), setelah dipatenkan oleh Yull Brown (1974) pada umumnya bertujuan bagaimana caranya agar produksi *Brown Gas* maksimal. Terdapat beberapa penelitian sebelumnya yang melakukan penelitian ini dengan atau tanpa penambahan katalis. Tetapi pada umumnya menambahkan katalis.

Todd (2014) berpendapat bahwa salah satu faktor utama proses elektrolisis adalah suhu. Hal ini berkaitan dengan karakteristik termodinamika molekul air. Semakin tinggi temperatur maka semakin meningkat pula proses reaksi pemisahan molekul air. dengan demikian berpengaruh terhadap efisiensi daya.

Laksono & Widhiyanuriyawan (2013) melakukan penelitian tentang pengaruh katalis NaHCO_3 (Natrium Bikarbonat) terhadap produksi *Brown Gas*. Tetapi bukan hanya satu fraksi masa saja melainkan fraksi masa yang berbeda-beda yaitu 0%, 0,99%, 1,15%, 1,31%, 1,47%, 1,64%. Kemudian dilarutkan didalam aquades dan dimasukkan di dalam generator HHO. Hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa produksi *Brown Gas* biasa saja tanpa menambahkan katalis. Akan tetapi terdapat kekurangan yaitu dibutuhkan daya yang besar dan produksi *Brown Gas* yang tidak maksimal. Dari keenam variasi fraksi massa tersebut, efisiensi elektrolisis terbaik pada arus 6A dan fraksi massa 1,31% yaitu sebesar 40,0578%.

Marlina (2013) meneliti tentang karakteristik produktifitas *Brown Gas* dengan penambahan katalis NaHCO_3 , dengan variasi penambahan katalis dimulai dari 2,5% -15%. Dari hasil penelitian tersebut disimpulkan bahwa semakin tinggi kadar katalis maka daya yang dibutuhkan semakin besar untuk melakukan proses elektrolisis tersebut. Dan pada katalis 12,5% didapatkan produktifitas yang tinggi, serta efisiensi tertinggi pada kadar 10% katalis NaHCO_3

Julianto (2013) melakukan penelitian hubungan suhu terhadap hambatan material dan disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur maka hambatan material akan semakin tinggi, dan jika dilihat pada grafik temperatur dan

hambatan berbanding lurus. Itu berarti semakin tinggi suhu maka hambatan juga akan semakin besar sesuai dengan semakin tidak teratur susunan atom-atom dari material tersebut.

Utomo dan Wijaya (2015), meneliti tentang pemanfaatan elektrolisa air sebagai alternatif penghematan bahan bakar sepeda motor. Hasil dari penelitian tersebut didapatkan bahan bakar bensin dengan penambahan *Brown Gas* dengan panjang elektroda 60 mm pada putaran mesin 6000 rpm dan dengan volume bensin 10 ml menghasilkan daya efektif sebesar 4,9 Hp dan akan habis dalam 66 s, serta konsumsi bahan bakar spesifik 0,078 kg/hp, efisiensi termis sebesar 71,8%. Kemudian terhadap panjang elektroda 80 mm dengan volume dan putaran yang sama menghasilkan $sfc = 0,079$ kg/hp, daya efektif 5,0 Hp serta efisiensi termis 70,3%. Disimpulkan bahwa dari hasil penelitian tersebut menunjukkan penambahan *Brown Gas* lebih efisien pada penggunaan bensin murni menghasilkan daya efektif sebesar 4,7 Hp, $sfc = 0,116$ kg/hp serta efisiensi thermal 48,1%.

Arifin dkk (2015) mengamati penggunaan pelat elektroda netral SS 316, elektroda netral aluminium dan tanpa pelat elektroda terhadap performansi elektrolisis sistim kering. Hasil penelitian tersebut disimpulkan bahwa penambahan pelat netral aluminium meningkatkan performa generator HHO jika dibandingkan tanpa elektroda netral, dan penggunaan pelat SS 316 dapat menurunkan nilai energy yang hilang (*losses energy*).

Prayitno dkk (2016) melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan pelat terhadap produksi *Gas Brown* pada generator HHO tipe kering. Penelitian ini menggunakan beberapa electrolyser, tanpa pelat sisi, 1 pelat sisi dan 2 pelat sisi. Kemudian lubang pada pelat netral divariasasi 2mm, 4mm, 6mm dan 8mm. Penelitian tersebut disimpulkan bahwa produktifitas gas cenderung konstan setiap pertambahan waktu, dan pada konfigurasi 2 pelat sisi dan 4 pelat netral merupakan konfigurasi dengan produktifitas terbesar yaitu 0,015 l/s dan paengurangan pelat netral menghasilkan efisiensi yang semakin besar, dan yang terbesar 26,31% pada 2 pelat sisi dan 2 pelat netral.

Nugraha dkk (2016) meneliti tentang pengaruh jarak celah elektroda dan ketebalan pelat terhadap produktifitas *Brown Gas* dan *electrolyser dry cell*.

Penelitian tersebut menggunakan variasi ketebalan pelat elektroda 0,3 mm, 1 mm dan 1,5 mm dengan beberapa jarak celah yaitu 1,5 mm, 1,8 mm, 2 mm dan 3 mm.

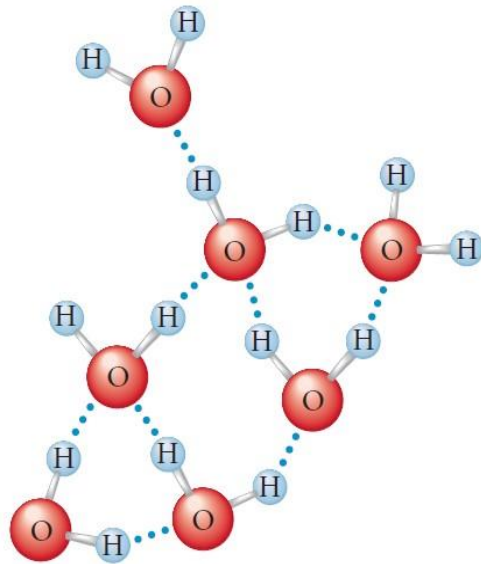
Dari hasil penelitian didapatkan produktifitas *Brown Gas* tertinggi pada ketebalan pelat 0,3 mm yaitu 0.0148958 *l/s* pada jarak celah 1,5 mm dan yang terendah dihasilkan pada ketebalan pelat 3 mm dan jarak celah 3 mm sebesar 0,0091875 *l/s*. permormansi terbaik dihasilkan pada variasi jarak celah 1,5 mm, ketebalan pelat stainless steel 304L ukuran 0,3 mm sebesar 0,0148959 *l/s* dan efisien sebesar 22,6498%.

Putra A M (2010) meneliti tentang besarnya arus listrik yang digunakan dalam proses elektrolisis menggunakan katalis KOH dan sumber arus listrik berasal dari *Power supply* DC dan variasi besaran arus diatur mulai dari 4, 4,5, 5, 5,5 dan 6A. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar arus listrik DC maka semakin besar produktifitas *Brown Gas* yaitu sebesar 6A.

Sari (2016) meneliti pengaruh ketebalan pelat elektroda dan fraksi massa katalis terhadap produktifitas *Brown Gas* pada *electrolyser dry cell*. Penelitian ini menggunakan variasi fraksi massa katalis 0,69%, 1,38%, 1,77% dan 2,15% dengan ketebalan pelat 0,3, 1, 1,2 dan 1,5 mm. Produktifitas tertinggi dihasilkan pada ketebalan pelat 0,3 mm dan fraksi massa 2,15% sebesar 0,01690 *l/s* dan terendah pada ketebalan elektroda 1,5 mm dan fraksi massa katalis 0,69%. Efisiensi terbesar pada ketebalan pelat 0,3 mm dan fraksi massa katalis 1,77% dengan laju produksi HHO sebesar 0,01471 *l/s* serta efisiensi sebesar 22,404%.

2.2 Air

Air merupakan suatu senyawa kimia yang terdiri dari 2 atom hidrogen dan 1 atom oksigen didalam satu molekul air. sifat fisik air berbentuk cairan, tidak bau, tidak berwarna. Juga bersifat pelarut terhadap beberapa macam zat. Pada kondisi standar yaitu tekanan 100 kPa mempunyai titik beku 0⁰ C dan titik didih 100⁰C (Wijayakusuma 2009). Terdapat sekitar 1,4 triliun km³ atau sekitar 330 juta mil³ air tersebar di berbagai tempat dimuka bumi ini.



Gambar 2.1 Ikatan antar molekul air

Sumber : Zumdahl (2010)

2.2.1 Hidrogen

Hydrogen merupakan salah satu unsur yang terdapat didalam air, dikenal dengan lambang H dalam tabel periodik dengan nomor atom 1. Merupakan unsur yang ringan dan tersedia banyak dengan prosentasi sekitar 75% di alam semesta. Hydrogen mudah terbakar karena bersifat diatomic, non logam, bervalensi tunggal. Putra (2010) pembakaran hydrogen menghasilkan kalor sebesar 143000 KJ/Kg hydrogen. Hydrogen memiliki sifat fisika dan kimia sebagai berikut:

Tabel 2.1 Sifat Fisika Hidrogen

Sifat Fisika Hidrogen	
Titik Lebur	-259.14 ^o C
Titik Didih	-252.87 ^o C
Warna	Tidak Berwarna
Bau	Tidak Berbau
Densitas	-0/08988g/cm ³ pada 293 K
Kapasitas panas	14.304 J/g K

Tabel 2.2 Sifat Kimia Hidrogen.

Sifat Kimia Hidrogen	
Panas Fusi	0,117 kJ/mol H ₂
Energi Ionisasi I	1312 kJ/mol
Afinitas Elektron	72,7711 kJ/mol
Panas Atomisasi	218 kJ/mol
Panas Penguapan	0,904 kJ/mol H ₂
Jumlah Kulit	1
Biloks minimum	1
Volume Polarisasi	0,7 Å ³
Struktur	hcp (hexagonal close packed)
Jari – jari Atom	25 pm
Konduktifitas Termal	0,1805 W/mk
Berat Atom	1,0079
Potensial Ionisasi	13,5984 eV
Biloks maksimum	1
Konfigurasi Elektron	1s ¹
Elektronegatifitas	2,18 (skala pauli)

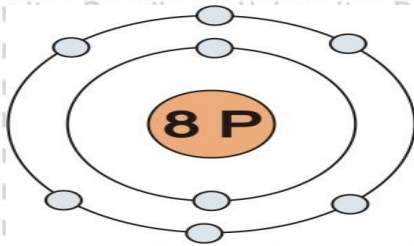
Sumber :Achmad, Hiskia (2001)

Gas hydrogen sangat mudah terbakar dan akan terbakar pada konsentrasi serendah 4% H₂ diudara bebas. Hydrogen terbakar menurut persamaan :



2.2.2 Oksigen

Oksigen merupakan unsur kedua yang menutupi atmosfer bumi sebanyak 21%, dan pada tekanan dan temperatur standar, oksigen memiliki sifat tidak berwarna, tidak bau, dan tidak berasa.



Gambar 2.2 Struktur Atom Oksigen.

Sumber: Brady (1999)

2.3 *Brown Gas*

Brown Gas (HHO/Oxyhydrogen) adalah jenis gas yang ditemukan dan dipatenkan atas nama penemu gas tersebut, Yull Brown (1974). Penyempurnaan produksi gas ini masih terus dilakukan, dikarenakan penggunaannya dapat dipakai sebagai sumber energi lain pengganti bahan bakar fosil. *Brown Gas* bisa diproduksi dari proses elektrolisis air dengan tipe *dry cell*.

Karena memiliki karakteristik yang ramah lingkungan, *Brown Gas* saat ini sudah banyak yang memanfaatkan dan dipergunakan baik untuk masyarakat atau industri. *Brown Gas* akan meningkatkan efisiensi thermal jika diinjeksikan bersama bahan bakar bensin pada kendaraan bermotor serta mengurangi kadar NO_x pada pembuangan hasil pembakaran mesin bermotor terhadap emisi gas buang (Leelakrishnan et. Al, 2012)

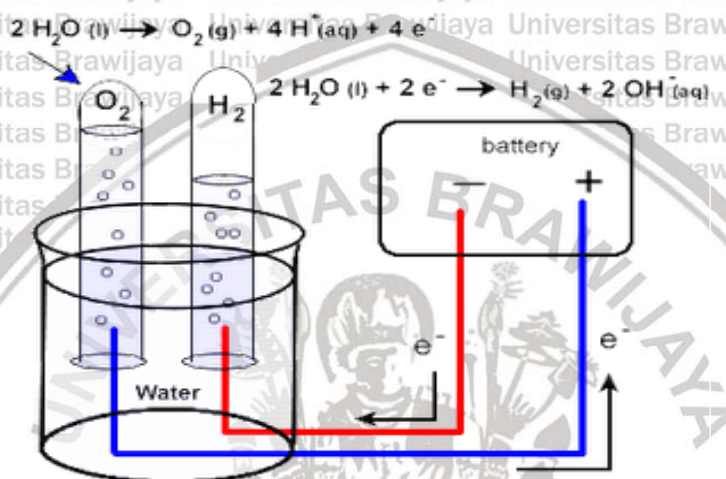
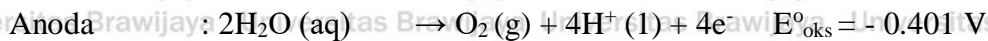
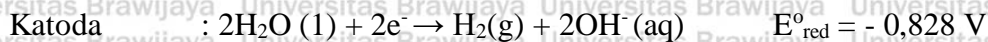
2.4 Elektrolisis Air

Elektrolisis merupakan suatu proses reaksi kimia dengan bantuan arus listrik, atau suatu reaksi dekomposisi dalam elektrolit oleh arus listrik. Elektrolisis sendiri dapat didefinisikan sebagai peristiwa pemisahan molekul H_2O menjadi Hidrogen (H) dan Oksigen (O). Sedangkan reaksi dekomposisi merupakan reaksi kimia dimana suatu senyawa dipecah menjadi komponen yang lebih sederhana. Elektrolit larut dalam pelarut polar (misalnya air) dan menjadi ion positif atau kation dan negatif atau anion. Reaksi elektrolisis adalah reaksi redoks tidak spontan karna reaksi ini dapat berlangsung dengan bantuan energi listrik yang mengalir dari luar dengan E°_{sel} bernilai negative. Reaksi reduksi yang terjadi di katoda dan menghasilkan gas hydrogen sedangkan reaksi oksidasi terjadi di anoda dan menghasilkan gas oksigen (Riyanto, 2013:18).

Faktor yang mempengaruhi proses elektrolisis diantaranya luas permukaan yang tercelup elektrolit, penggunaan katalis, sifat material elektroda yang

digunakan serta suhu elektrolit saat elektrolisis berlangsung, disamping itu laju pergerakan elektrolit yang terelektrolisa juga mempengaruhi produktifitas gas H₂O.

Persamaan reaksi oksidasi dan reduksi air pada proses elektrolisis air :



Gambar 2.3 Elektrolisi Air
Sumber : Takeuchi (2011)

2.4.1 Larutan Elektrolit

Elektrolit merupakan larutan yang dipergunakan dalam proses elektrolisis untuk menghasilkan *Brown Gas*. Didalam elektrolit terdapat campuran air murni atau air destilasi dan katalis. Dalam proses elektrolisis air, larutan elektrolit berfungsi sebagai penghantar (*konduktor*) listrik yang berguna pada proses pemecahan H₂O menjadi *Brown Gas*. Dan pada penelitian ini menggunakan campuran air sumur dan NaOH sebagai larutan elektrolit.

2.4.2 Katalisator

Fungsi utama dari katalisator adalah mempercepat suatu proses reaksi.

Penggunaan katalisator dalam industri sangat berperan penting ditinjau dari beberapa sisi disamping sangat ekonomis, mempersingkat waktu proses reaksi dan kecepatan proses reaksi (Lestari 2012). Katalis yang berada pada fase yang sama

dengan reaktan disebut juga katalis homogen, dan yang berbeda dengan reaktan disebut heterogen. Reaktan yang dimaksud berupa zat padat atau zat cair yang tidak dapat bercampur dengan gas.

2.4.3 NaOH

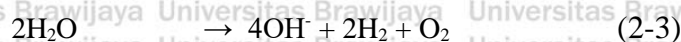
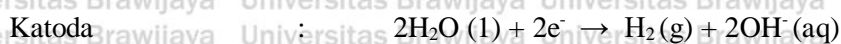
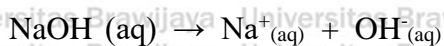
NaOH (*Sodium Hydroxide*) atau *caustic soda*, sudah tidak asing lagi di Indonesia, karena katalis jenis ini sering kita kenal dengan istilah soda api ciri-ciri fisik NaOH berbentuk Kristal putih merupakan senyawa basa anorganik dan diproduksi dalam bentuk flake, pellet atau granular. Larutan NaOH termasuk larutan elektrolit yang kuat dan merupakan penghantar yang baik dan membantu mempercepat proses elektrolisis. Pemanfaatannya sering digunakan dalam pembuatan biofuel. Biofuel juga termasuk bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil. Penggunaan katalis jenis ini mampu mempercepat terjadinya proses elektrolisis, karena ion-ion yang terdapat pada katalisator mampu mempengaruhi kestabilan ion H^+ dan OH^- yang lebih mudah dielektrolisis disebabkan penurunan energi pengaktifan.

Tabel 2.3 Sifat Fisika NaOH

NaOH	Nilai
Berat Molekul	39,998 gr/mol
Spesific Gravity	2,130
Titik leleh	318 ⁰ C
Titik didih	1390 ⁰ C
Kelarutan pada 20 ⁰ C, gr/100gr air	299,6

Sumber: Surest (2010)

Persaman reaksi larutan NaOH :



Dari rumus persamaan diatas dapat dilihat bahwa unsur Na^+ tidak bereaksi pada proses elektrolisis H_2O melainkan hanya diam dan menempel pada elektroda.

2.4.4 Fraksi Massa Katalis

Fraksi massa katalis adalah angka perbandingan antara massa zat terlarut dengan zat massa total larutan atau massa pelarut + massa terlarut. Sari dkk (2016) fraksi massa katalis dapat dihitung dengan persamaan :

$$\% = \frac{\text{massa katalis (gr)}}{\text{massa larutan (gr)}} \times 100\%$$

$$\% = \frac{\text{massa katalis (gr)}}{\text{massa air + massa katalis (gr)}} \times 100\% \quad (2-4)$$

Massa zat terlarut sebesar 45gr dan massa zat pelarut sebesar 2500 gr maka fraksi massa katalis tersebut adalah :

$$\% = \frac{45\text{gr}}{2500 + 45\text{ gr}} \times 100\% \quad (2-5)$$

$$\% = \frac{45\text{ gr}}{(2545)\text{gr}} \times 100\%$$

$$= 1,77 \%$$

2.5 Generator HHO.

Generator HHO merupakan alat yang digunakan sebagai tempat terjadinya proses elektrolisis air. generator ini terdiri dari beberapa komponen penting seperti pelat elektroda (anoda dan katoda) serta dialiri larutan elektrolit. Proses pemisahan hydrogen dan oksigen pada air (H_2O) karena proses pada kutub negative (katoda) dua molekul air bereaksi dengan dua elektron yang mengalir didalam, kemudian tereduksi menjadi gas H_2 serta ion Hidroksida (OH^-).

Kemudian ion hidroksida tersebut bergerak menuju kutub positif (anoda).

Electron terlepas menuju permukaan anoda dan bergerak kembali menuju sumber listrik. Dua buah ion OH^- terurai membentuk air dan gelembung oksigen.

Nugraha dkk (2016) Gas H_2 yang timbul dala katoda dan O_2 yang timbul pada anoda akan muncul berupa gelembung-gelembung kecil pada permukaan elektroda.

2.5.1 Jenis Generator HHO

Generator HHO dapat dibagi menjadi 2 tipe/jenis.

1. Generator HHO tipe kering (*Dry Cell*)

Kita dapat membedakan tipe apakah generator HHO itu. Hanya dengan melihat apakah kedua elektrodanya terendam sepenuhnya di dalam larutan elektrilit atau tidak. Tipe *dry cell*, tidak sepenuhnya elektrodanya terendam.



Gambar 2.4 Generator HHO tipe *Dry Cell*

2. Generator HHO tipe basah (*Wet Cell*).

Generator tipe basah, semua permukaan elektroda terendam di cairan elektroda. Generator HHO tipe ini memiliki keunggulan produktifitas *Brown Gas* yang lebih stabil, tetapi berbeda dengan tipe kering yaitu pada tipe ini akan menghasilkan panas yang lebih besar, cepat panas serta membutuhkan daya yang besar untuk menunjang kinerja dari elektroda yang semuanya terendam dalam larutan. Tetapi lebih mudah dalam perancangannya dan perawatan.



Gambar 2.5 Generator HHO tipe *Wet Cell*

2.5.2 Elektroda

Elektroda terdiri dari 2 sisi yaitu kutub negatif dan kutub positif yang kita kenal dengan istilah anoda dan katoda, terbuat dari bahan konduktor atau penghantar arus listrik yang baik ke larutan elektrolit. Elektroda melakukan reaksi redoks (reduksi dan oksidasi) yaitu memecah H₂O menjadi gas HHO, dimana reduksi terjadi pada katoda dan oksidasi pada anoda.

1. Potensial Elektroda

Potensial elektroda dapat didefinisikan sebagai potensial arus listrik yang terdapat pada elektroda setelah dialiri arus listrik, dan berhubungan dengan reduksi dan oksidasi yang terjadi pada elektroda. Kemampuan untuk mereduksi zat lain disebut potensial reduksi. Potensial reduksi dari elektroda dilambangkan dengan E. potensial elektroda dapat dihitung dengan persamaan :

$$E_{sel} = E_{katoda} - E_{anod} \quad (2-6)$$

Tabel 2.4 Komposisi material *stainless steel*

Chemical Composition of Austenitic Stainless Steels						
AISI type	Nominal composition (%)					
	C max.	Mn max.	Si max.	Cr	Ni	Others*
201	0.15	7.5*	1.00	16.00-18.00	3.50-5.50	0.25 max. N
202	0.15	10.00*	1.00	17.00-19.00	4.00-6.00	0.25 max. N
205	0.25	15.50*	0.50	16.50-18.00	1.00-1.75	0.32/0.4 max. N
301	0.15	2.00	1.00	16.00-18.00	6.00-8.00	
302	0.15	2.00	1.00	17.00-19.00	8.00-10.00	
302B	0.15	2.00	3.00*	17.00-19.00	8.00-10.00	
303	0.15	2.00	1.00	17.00-19.00	8.00-10.00	0.15 min. S
303(Se)	0.15	2.00	1.00	17.00-19.00	8.00-10.00	0.15 min. Se
304	0.08	2.00	1.00	18.00-20.00	8.00-12.00	
304L	0.03	2.00	1.00	18.00-20.00	8.00-12.00	
304N	0.08	2.00	1.00	18.00-20.00	8.00-10.50	0.1/0.16 N
305	0.12	2.00	1.00	17.00-19.00	10.00-13.00	
308	0.08	2.00	1.00	19.00-21.00	10.00-12.00	
309	0.20	2.00	1.00	22.00-24.00	12.00-15.00	
309S	0.08	2.00	1.00	22.00-24.00	12.00-15.00	
310	0.25	2.00	1.50	24.00-26.00	19.00-22.00	
310S	0.08	2.00	1.50	24.00-26.00	19.00-22.00	
314	0.25	2.00	3.00*	23.00-26.00	19.00-22.00	
316	0.08	2.00	1.00	16.00-18.00	10.00-14.00	2.00-3.00 Mo
316F	0.08	2.00	1.00	16.00-18.00	10.00-14.00	1.75-2.50 Mo
316L	0.03	2.00	1.00	16.00-18.00	10.00-14.00	2.00/3.00 Mo
316N	0.08	2.00	1.00	16.00-18.00	10.00-14.00	2.00-3.00 Mo
317	0.08	2.00	1.00	18.00-20.00	11.00-15.00	3.00-4.00 Mo
317L	0.03	2.00	1.00	18.00-20.00	11.00-15.00	3.00-4.00 Mo
321	0.08	2.00	1.00	17.00-19.00	9.00-12.00	5 × C min. Cb-Ta
330	0.08	2.00	1.5*	17.00-20.00	34.00-37.00	0.10 TA 0.20 Cb
347	0.08	2.00	1.00	17.00-19.00	9.00-13.00	10 × C min. Cb-Ta
348	0.08	2.00	1.00	17.00-19.00	9.00-13.00	10C min. Cb-Ta 2.0 Mo
20Cb3	0.07	0.75	1.00	20.0	29.0	3.0 Cu
904L	0.02	—	—	21.0	25.5	8 × C Min. Cb-Ta 4.7 Mo 1.5 Cu

Sumber : Metallic materials, Schweitzer (2006)

2. Material Elektroda

Stainless steel (Ss) digunakan sebagai material elektroda dan pelat netral dan pelat sisi pada generator HHO. Logam jenis ini merupakan merupakan jenis logam dengan kadar karbon rendah dan pada umumnya mengandung campuran 18% Cromium (cr) dan 8% Nikel (Ni)., tahan terhadap asam dan terhadap suhu rendah maupun tinggi, serta memiliki lapisan anti korosi (*protective layer*).

Korosi pada stainless steel adalah kromium oksida yang secara otomatis terbentuk pada permukaan bahan, sehubungan afinitas kromium yang tinggi untuk bergabung dengan oksigen.

2.5.3 Pelat Netral

Letak pelat netral diantara dua kutub negatif dan positif, tetapi tidak dihubungkan dengan salah satu kutub. Jarak antara tiap pelat netral bisa divariasikan dan jumlahnya juga bisa ditambah atau dikurangi.

2.5.4 Gasket Pemisah (O Ring)

Penelitian ini menggunakan gasket pemisah berupa karet bulat sebagai pembatas antar sesama pelat netral maupun pelat netral dengan elektroda.

2.6 Konduktifitas Listrik

Konduktifitas listrik didefinisikan sebagai ratio rapat arus terhadap kuat medan listrik. Konduktor adalah penghantar listrik yang baik, dengan demikian konduktifitas listrik merupakan kemampuan suatu bahan atau logam untuk menghantarkan arus listrik. Hubungan antara konduktifitas dengan resistivitas dapat ditunjukkan dalam persamaan berikut :

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2-7)$$

σ = Konduktifitas listrik (S/cm)

ρ = Resistivitas jenis material (Ω -cm)

Resistansi terhadap suatu material juga berhubungan erat dengan panjang, luas penampang, lintang serta tipe dari material tersebut. Resistansi tidak bergantung pada arus, hal ini berlaku pada material ohmik dan dalam hubungan empiris disebut hukum Ohm

$$V = I.R \quad R = \text{Konstan} \quad (2-8)$$

Arus yang mengalir tidak setara dengan tegangan, hal ini berlaku bagi material nonohmik. Resistansinya bergantung pada kuat arus (I) dan didefinisikan dalam persamaan

$$R = \frac{V}{I} \quad (2-9)$$

Kurva hubungan tegangan dan kuat arus pada bahan ohmik adalah linier, sedangkan untuk nonohmik sebaliknya. Resistansi suatu kawat penghantar setara dengan panjang kawat dan berbanding terbalik dengan luas penampang melintang

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2-10)$$

R = nilai hambatan material (Ω)

ρ = hambatan jenis suatu material ($\Omega\text{-m}$)

L = panjang material (m)

A = luas penampang material (m^2)

Persamaan berikut adalah hubungan konduktivitas listrik dan resistansin

$$R = \frac{L}{\sigma A} \quad (2-11)$$

$$\sigma = \frac{L}{RA} \quad (2-11a)$$

R = nilai hambatan material (Ω)

σ = konduktivitas listrik material (S/cm)

L = panjang material (m)

A = luas penampang material (m^2)

Persamaan hubungan kenaikan suhu terhadap suatu material dengan koefisien suhu tiap material dapat ditunjukkan dengan persamaan

$$\Delta R = R_0 (1 + \alpha \Delta T) \quad (2-12)$$

ΔR = hambatan pada temperatur $t^\circ\text{C}$ (Ω)

R_0 = hambatan awal material pada 0°C (Ω)

α = koefisien suhu per $^\circ\text{C}$ ($1/^\circ\text{C}$)

ΔT = perubahan temperature ($^\circ\text{C}$)

2.7 Parameter Kerja Generator HHO

1. Daya generator HHO

Untuk mendapatkan efisiensi yang tinggi penggunaan listrik harus seminimal mungkin tetapi tidak mengurangi produktifitas *Brow Gas*. Daya listrik yang digunakan selama proses elektrolisis berlangsung dapat ditulis dengan persamaan :

$$P = V \cdot I \quad (2-13)$$

P = Daya yang dibutuhkan generator HHO (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Kuat arus listrik (Ampere)

Berdasarkan persamaan diatas dapat disimpulkan semakin besar tegangan maka daya yang dibutukan generator HHO semakin besar.

2. Laju produksi *Brown Gas*

Laju produksi *Brown Gas* yang dihasilkan Generator HHO tergantung dari volume (I) generator HHO setiap detiknya, ditunjukkan dengan persamaan berikut (supandi,2015) :

$$Q = \frac{V}{t} \left[\frac{l}{s} \right] \quad (2-14)$$

Q = Produktifitas *Brown Gas*

V = Volume *Brown Gas*

T = Waktu yang digunakan untuk menghasilkan *Brown Gas*.

3. Efisiensi *Brown Gas*

Efisiensi adalah perbandingan antara energy yang dihasilkan dengan jumlah energy yang digunakan. Dapat dihitung dengan persamaan berikut (Williams, 2002)

$$\eta = \frac{\text{Energi yang dihasilkan}}{\text{Energi yang digunakan}} \quad (2-15)$$

Untuk mengetahui hubungan kuat arus, tegangan dan nilai hambatan proses elektrolisis dapat dilihat pada persamaan berikut (Bueche, 195)

$$V = I \cdot R \quad (2-16)$$

V = Beda Potensial Tegangan (Volt)

I = Kuat Arus (Ampere)

R = Hambatan (ohm)

- Menentukan massa jenis *Brown Gas*

Proses elektrolisis ini terjadi pemisahan air menjadi hidrogen dan oksigen.

Jika massa air yang dielektrolisis sebesar 1kg maka dapat disimpulkan hasil produk juga terdiri dari massa total hydrogen dan oksigen sebanyak 1 kg. menurut table periodic unsur bahwa nilai Mr H₂O = 18, Mr H₂ = 2, Mr O₂ = 32 maka didapatkan:



Dari persamaan diatas dapat diketahui massa jenis *Brown Gas*. Jika kondisi standar massa jenis hydrogen = 0,08235gr/l dan oksigen = 1,3088gr/l.

Massa jenis *Brown Gas* dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{HHO}} &= \frac{m_{\text{HHO}}}{V_{\text{HHO}}} = \frac{(m_{\text{H}_2} + m_{\text{O}_2})}{V_{\text{HHO}}} = \frac{(\rho_{\text{H}_2} \cdot V_{\text{H}_2} + \rho_{\text{O}_2} \cdot V_{\text{O}_2})}{V_{\text{HHO}}} \quad (2-18) \\
 &= \frac{(\rho_{\text{H}_2} \cdot \frac{2}{3} V_{\text{HHO}} + \rho_{\text{O}_2} \cdot \frac{1}{3} V_{\text{HHO}})}{V_{\text{HHO}}} \\
 &= \frac{(\rho_{\text{H}_2} \cdot \frac{2}{3} V_{\text{HHO}} + \rho_{\text{O}_2} \cdot \frac{1}{3} V_{\text{HHO}})}{V_{\text{HHO}}} \\
 \rho_{\text{HH}} &= \left(\frac{2}{3} \times 0,08235 \frac{\text{gr}}{\text{lt}} \right) + \left(\frac{1}{3} \times 1,3088 \frac{\text{gr}}{\text{lt}} \right) \\
 &= 0,491167 \text{ gram/lt}
 \end{aligned}$$

- *Lower Heating Value (LHV) Brown's gas*

Untuk gas hidrogen (H_2) sendiri memiliki nilai kalor sebesar 119,93 kJ/gram (Wardana,2008:83). Untuk mengetahui nilai kalor dari *Brown's gas* terlebih dahulu harus mengetahui perbandingan massa antara gas hidrogen (H_2) yang terdapat dalam *Brown's gas*. Jika massa H_2 dalam *Brown's gas* adalah sebesar 1/9, maka nilai LHV (*Lower Heating Value*) *Brown's gas* merupakan 1/9 kali dari nilai LHV (*Lower Heating Value*) gas H_2 , yaitu = $1/9 \times 119,93 \text{ kJ/gr} = 13,25 \text{ kJ/gr}$ atau 13250 J/gr.

Secara teoritis perhitungan efisiensi generator HHO dapat ditunjukkan pada Persamaan (2-19) dibawah ini (Marlina dkk, 2013).

$$\eta = \frac{\text{Energi yang dimiliki oleh HHO hasil elektrolisis}}{\text{Enrgi yang dibutuhkan untuk memproduksi gas HHO}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{M_{HHO} \times LHV_{HHO}}{P} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{G_{HHO} \times \rho_{HHO} \times LHV_{HHO}}{P} \times 100\% \quad (2-19)$$

Q_{HHO} = Debit Gas HHO yang dihasilkan pada proses elektrolisis (l/s)

LHV_{HHO} = Nilai energi terendah yang diperlukan agar gas HHO dapat bereaksi (J/gr)

ρ_{HHO} = Massa jenis gas HHO (gr/l)

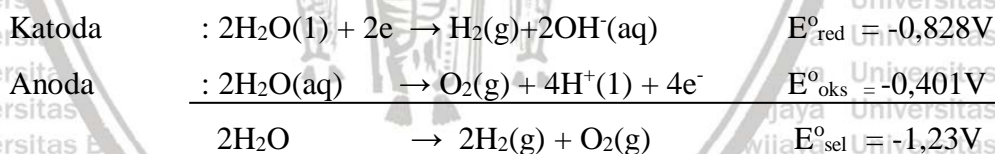
P = Daya yang digunakan (Watt)

BAB III KERANGKA KONSEP PENELITIAN

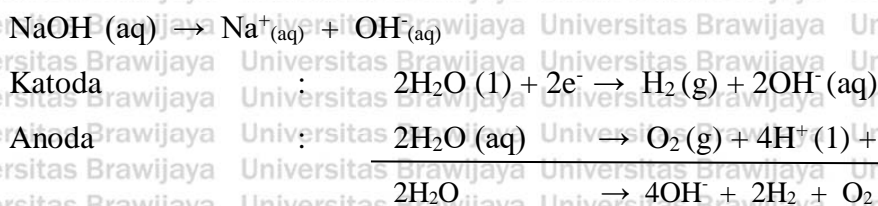
3.1 Deskripsi Penelitian

Elektrolisis merupakan suatu proses kimia pemisahan molekul hidrogen dan oksigen dengan bantuan arus listrik. Salah satu faktor yang sangat berpengaruh terhadap proses elektrolisis adalah suhu, dimana, semakin tinggi temperatur yang diperoleh maka akan semakin cepat proses pemisahan molekul air. akan tetapi harus diperhitungkan juga efisiensi daya yang disalurkan oleh inverter. Inverter adalah yang dipakai untuk merubah tegangan dari arus AC ke DC.

Air yang merupakan suatu unsur kimia yang terdiri dari 2 atom hidrogen dan 1 atom oksigen didalam 1 molekul air. Elektrolisis air yang dilakukan dengan tanpa menggunakan larutan katalis bisa saja dilakukan akan tetapi membutuhkan waktu yang relatif agak lama untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Katalis sangat berguna untuk membantu mempercepat proses tersebut. Proses elektrolisis air didalam sebuah generator dengan beberapa susunan material seperti anoda, katoda dan pelat netral dapat menghasilkan gas yang dinamakan *Brown Gas*. Proses reaksi dan reduksi air dalam dua buah elektroda dapat ditulis dengan persamaan :



Brown Gas (HHO) dihasilkan oleh proses elektrolisis. Penelitian tentang *Brown Gas* sudah banyak dilakukan, diantaranya pemanfaatannya, penggunaan katalis yang berbeda dan berbagai inovasi cara untuk meningkatkan produktifitas *Brown Gas*. Katalis yang akan dipakai dalam penelitian ini adalah NaOH dengan persamaan reaksi sebagai berikut :



Fokus utama dalam penelitian ini adalah produktifitas *Brown Gas* apabila pada generator HHO yang dipakai mengalami beberapa variasi. Generator yang dipakai tipe kering (*Dry Cell*). Variasi yang ingin peneliti lakukan terhadap generator HHO adalah bentuk elektroda, diameter lubang elektroda serta jumlah pelat netral. Dan juga pengaruh akibat variasi tersebut terhadap efisiensi daya inverter.

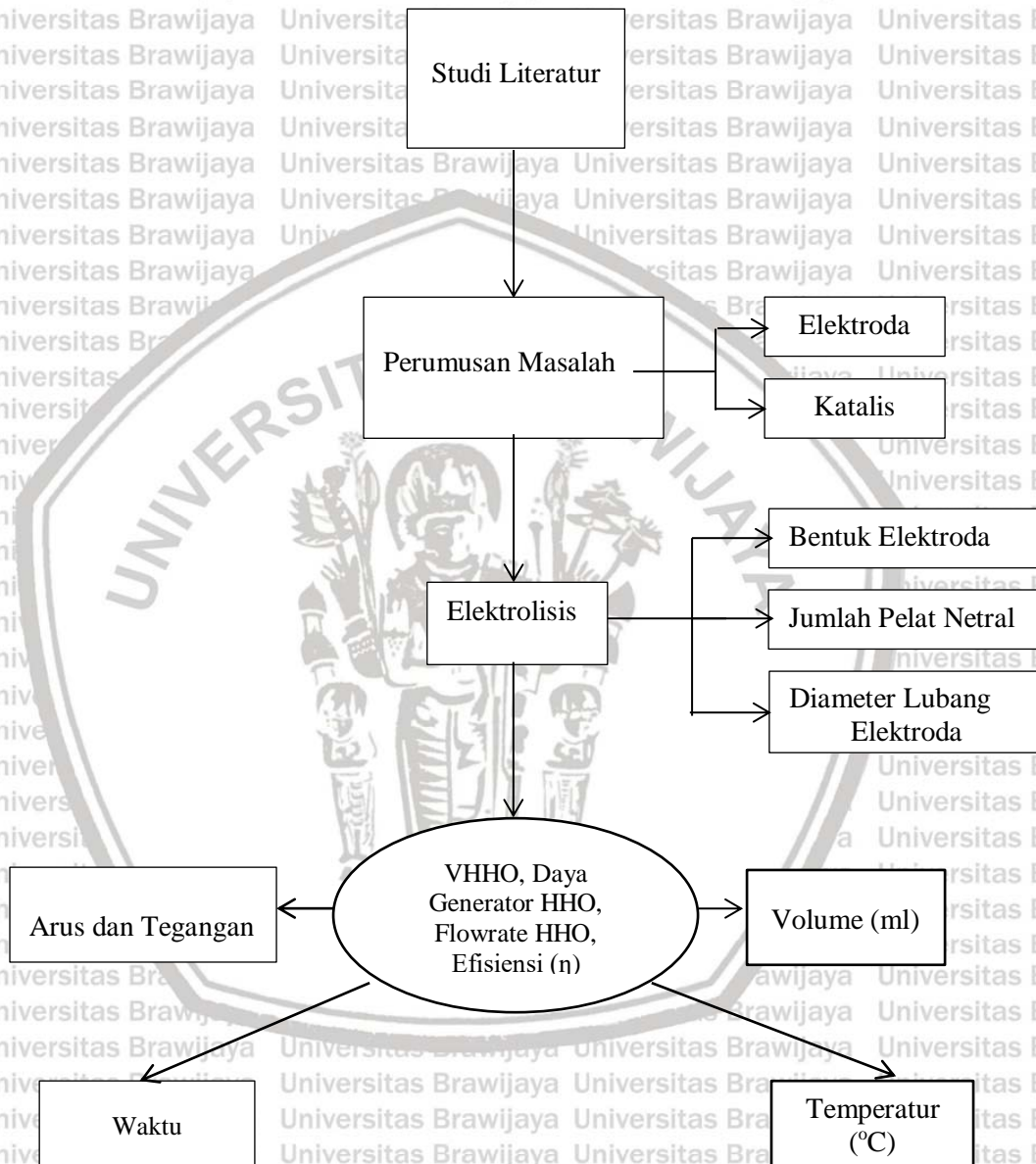
3.2 Hipotesa

Produktifitas *Brown Gas* akan meningkat apabila pergerakan electron dari anoda dan katoda menuju larutan elektrolit semakin cepat dan hanya akan terjadi apabila tahanan listrik dari suatu material semakin kecil. Variasi pada Generator HHO mempengaruhi parameter kerja generator HHO, produktifitas serta efisiensi.

Penambahan jumlah pelat netral meningkatkan produktifitas *Brown Gas* namun membutuhkan daya yang lebih besar. Semakin besar diameter lubang elektroda maka semakin kecil hambatan pada generator HHO sehingga mempengaruhi besar efisiensi.

Penambahan profil pada sisi elektroda mempengaruhi luasan terjadinya reaksi dengan elektrolit sehingga dapat meningkatkan produktifitas *Brown Gas*.

3.3 Kerangka Konsep Penelitian



BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode penelitian langsung (*experimental research*), yang bertujuan untuk mengamati secara langsung dan menganalisa pengaruh daripada variasi diameter lubang elektroda, bentuk elektroda serta jumlah pelat netral pada generator HHO terhadap produktifitas *Brown Gas*.

4.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Surya dan Energi Alternatif, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada bulan Juli 2018 - Selesai. Perancangan instalasi alat dan proses pengambilan data dilaksanakan di laboratorium tersebut.

4.3 Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

4.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang nilainya ditentukan peneliti dan kondisinya dapat diubah-ubah sehingga dapat diperoleh hubungan dengan variabel terikat. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- Posisi lubang pelat tepi, elektroda dan pelat netral disusun secara horizontal.
- Variasi jumlah pelat netral adalah 4, 6 dan 8 buah.
- Diameter ukuran lubang pelat elektroda adalah 5, 8, 10 dan 12 mm.
- 4 variasi bentuk elektroda, yaitu bentuk profil polos, persegi, silang dan lingkaran
- Diameter pelat netral 8 mm.

4.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas dan dapat diketahui setelah melakukan penelitian. Variabel terikat meliputi:

- Produktifitas *Brown Gas* (Q)
- Daya Generator HHO (P)

- Efisiensi Generator HHO (η)

4.3.3 Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dibatasi dan ditentukan oleh peneliti. Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah:

- Air diukur sebanyak 2500ml untuk melarutkan katalis NaOH dengan fraksi massa sebesar 1.77%.
- Kuat arus listrik 10 A yang berasal dari arus AC (*Alternating current*) kemudian diubah menjadi arus DC (*Direct current*) dengan bantuan inverter.
- Suhu sekitar lokasi penelitian konstan
- Jenis pelat elektoda dan pelat netral *Stainless Steel 304 L*

Pelat sisi generator HHO yang digunakan sebanyak 2 buah, kiri dan kanan.

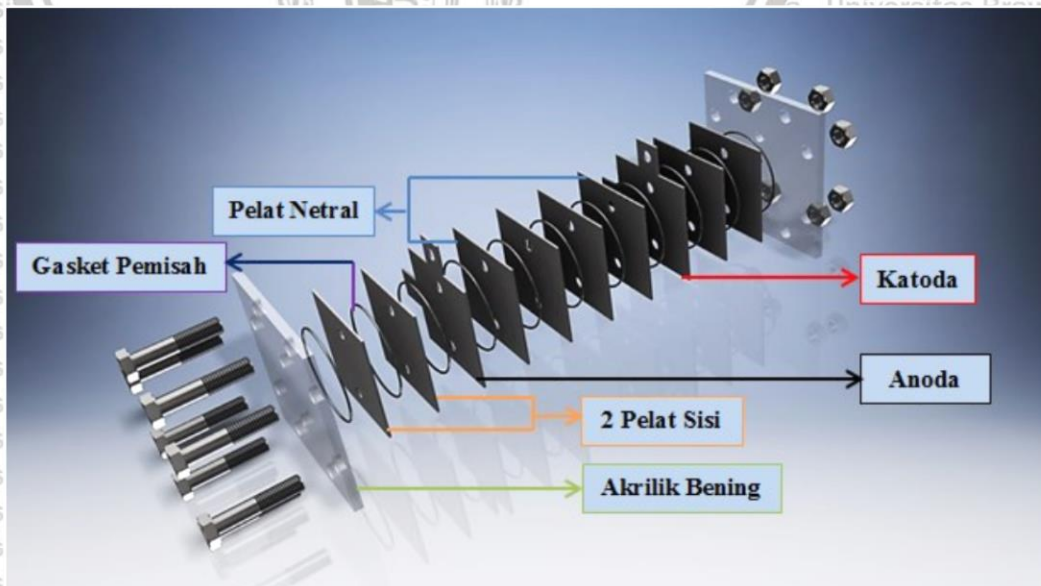
4.4. Alat dan Bahan Penelitian

4.4.1 Alat Penelitian

Berikut ini adalah komponen utama yang dipergunakan sebagai alat penelitian :

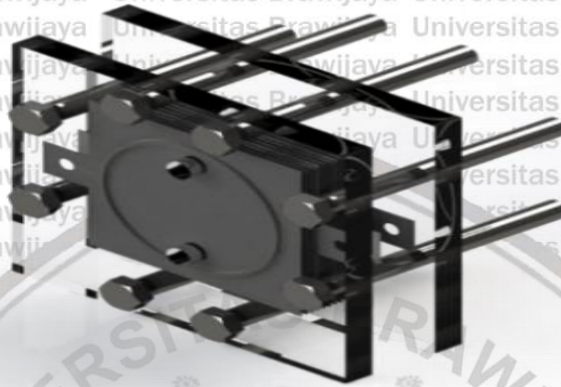
1. Generator HHO (*Elektrolizer*)

Generator HHO merupakan suatu alat berupa rangkaian beberapa komponen material yang berfungsi untuk menghasilkan *Brown Gas*. Alat ini terdiri susunan pelat sisi, pelat elektroda, pelat netral bermaterial pelat *Stainless steel 304*, dan dibatasi gasket berupa O Ring dan 2 buah akrilik .



Gambar 4.1 Susunan komponen Generator HHO

Dari gambaran susunan generator diatas dapat dijelaskan beberapa bagian dalam terdiri dari pelat sisi, pelat elektroda dan beberapa pelat netral, kemudian dari masing-masing pelat diberi pembatas berupa O ring berbahan karet dan bagian terluar ditambah casing berbahan akrilik bening.



Gambar 4.2 Assembly komponen electrolyser HHO

Material penyusun generator HHO tipe *dry cell* :

2. Gasket (Pembatas)

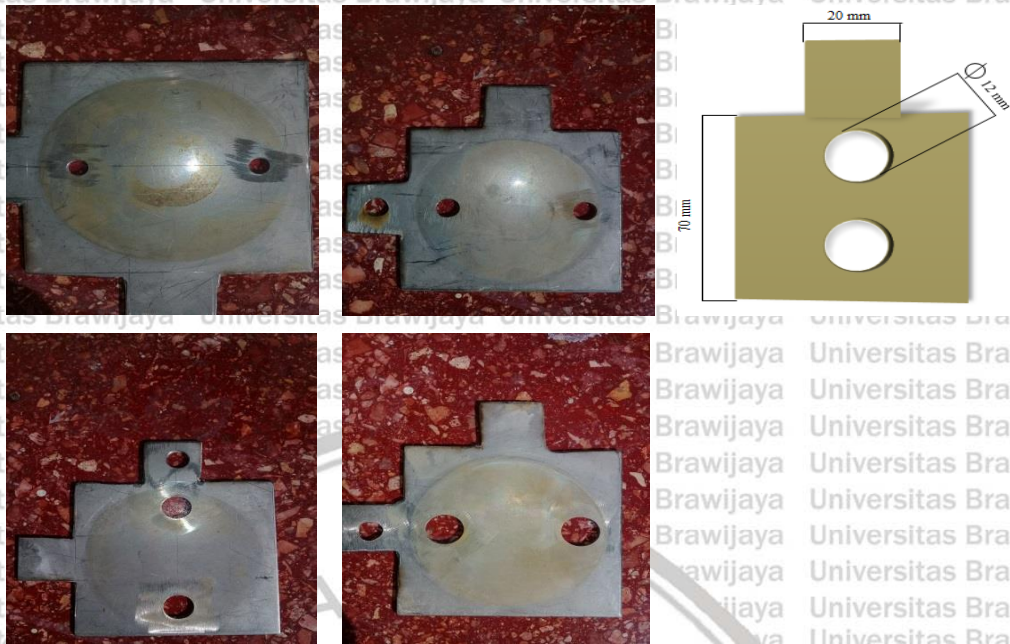
Gasket atau pembatas berbahan kerat berbentuk *O-Ring seal* dengan 2 ukuran ketebalan, O-Ring pada bagian diantara pelat sisi dan elektroda dan diantara sesama pelat netral adalah sama 1.5 mm, sedangkan untuk O-Ring diantara elektroda dan pelat netral adalah 3 mm (Gambar 4.3)



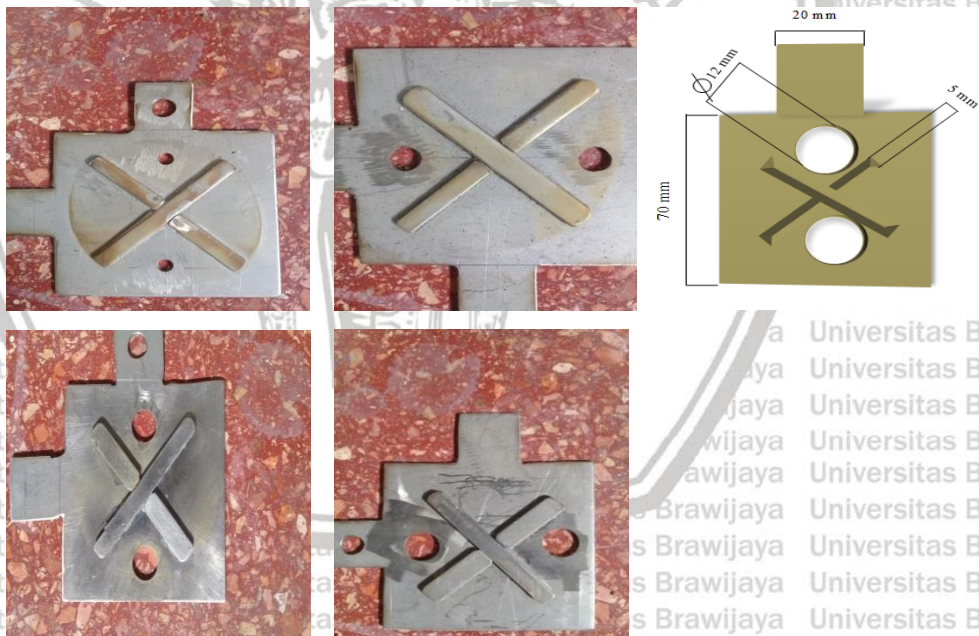
Gambar 4.3 *O-Ring seal* dengan ketebalan 1.5 mm dan 3 mm

3. Pelat Elektroda

Jenis material yang dipilih sebagai pelat sisi, pelat elektroda dan pelat netral adalah *Stainless Steel 304 L*. pemilihan jenis pelat ini dikarenakan sifatnya yang tidak mudah korosi dan mudah didapat di pasaran.



Gambar 4.4 Elektroda bentuk polos dengan diameter lubang 5, 8, 10 dan 12 mm

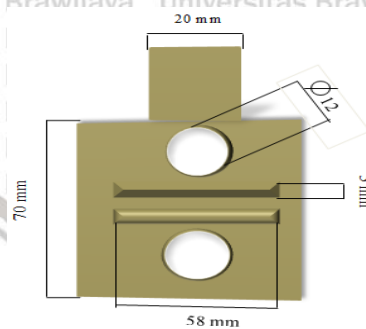


Gambar 4.5 Elektroda bentuk silang dengan diameter lubang 5, 8, 10 dan 12 mm

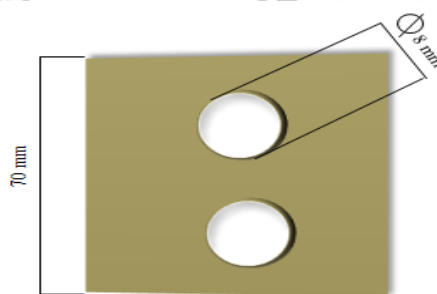




Gambar 4.6 Elektroda bentuk lingkaran dengan diameter lubang 5,8, 10,12 mm



Gambar 4.7 Elektroda bentuk persegi dengan diameter lubang 5, 8, 10, 12 mm



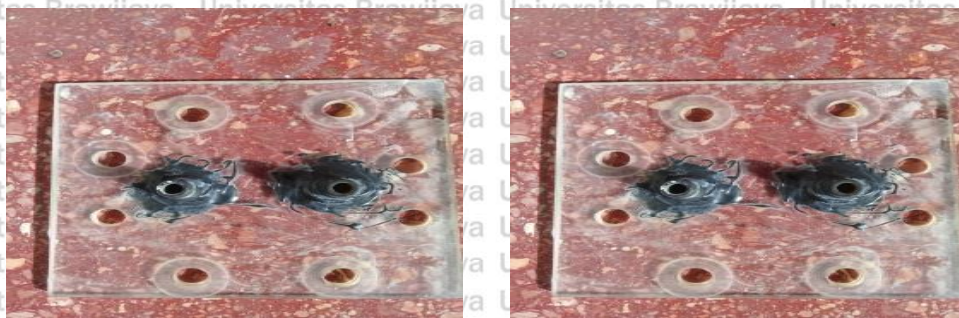
Gambar 4.8 Pelat netral

Pelat netral yang dipakai semuanya sama dan tidak divariasikan diameter lubang, semuanya berdiameter 8 mm.

4. Akrilik Bening

Akrilik bening dipakai sebagai bahan pembuatan casing bagian luar generator HHO, dan diikat oleh beberapa buah bat panjang dan mur. Dimensi

akrilik panjang 11 cm, lebar 11 cm, diameter lubang nozle 8 mm dan diameter lubang baut pengencang 10 mm (Gambar 4.9).



Gambar 4.9 Akrilik bening

5. Power Supplay (*inverter*)

Penelitian ini menggunakan inverter sebagai sumber arus listrik. Sistem kerja alat ini mengubah arus AC ke DC. Pemilihan alat ini dimaksudkan agar dapat mengatur besaran kuat arus (I) yang ingin kita pakai sebagai output (Gambar 4.10).



Gambar 4.10 Inverter

Spesifikasi

Merek	:Lakoni	Falcon
	120e	
Daya maksimum	:900 Watt	
Arus output	:10-120Amphere	
Input	:AC 220 Volt	
Output	:DC (<i>Direct Current</i>)	

6. *Digital Multimeter*

Digital multimeter digunakan untuk mengukur besar tegangan yang mengalir pada Generator HHO (Gambar 4.11).



Spesifikasi

Merek	: SANWA
Tipe	: CD800a
Display	: Numeral display 4000
Frekuensi	: 5~100Hz
DCV	: 400mV- 600V
ACV	: 4-600V

Gambar 4.11.a. *Digital Multimeter*

Dan *Multimeter* yang kedua untuk mengukur kuat (A) arus pada generator HHO



Spesifikasi

Merek	: PROHEX
Tipe	: MY-60
Max Display	: 1999
Size/weight	: 75 X 130 X 36mm ; weight 150g
DCV	: 200mV-500V
ACV	: 200V-500V

Gambar 4.11 (b) *Digital Multimeter*

7. Stopwatch

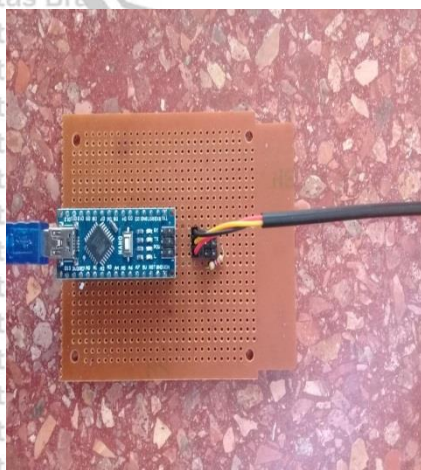
Digunakan mengukur rentang waktu pengambilan data saat generator HHO dijalankan (Gambar 4.12).



Gambar 4.12 Stopwatch

8. Arduino Nano dan Sensor Suhu.

Sensor suhu dalam satuan Celcius yang ditanam di dalam selang yang letaknya setelah *elektrolyzer*. Kemudian data suhu tersebut diolah oleh software yang telah diinstal di laptop (Gambar 4.13)



Spesifikasi sensor DS18B20

- ❖ Temperatur range -55 to 120°C
- ❖ 9 to 12 bit Resolusi
- ❖ Unique 64 bit ID burned into chip
- ❖ Multiple sensors can share one pin
- ❖ +/-0,5C Accuracy from -100 to + 85C
- ❖ Temperature limit alarm System
- ❖ Query time 15 is less than 75ms
- ❖ Usable with 30V to 5.5 V power data

Spesifikasi Arduino Nano

- ❖ Microcontroller Atmel ATmega 328
- ❖ Operating Voltage (Logic Level) 5V
- ❖ Input Voltage (recommended) 7 – 12V

Gambar 4.13 Arduino Nano dan Sensor Suhu

9. Timbangan Digital

Digunakan untuk mengukur berat katalis yang akan dilarutkan di air sebagai elektrolit (Gambar 4.14)



Spesifikasi

Kapasitas	: 10 kg
Power	:baterai 2 buah
Ketelitian	: 1 Gram
Satuan	:Gram dan ons

Gambar 4.14 Timbangan Digital

10. Wadah Elektrolit

Wadah elektrolit berupa wadah plastic yang berfungsi sebagai penampung larutan elektrolit dan larutan elektrolit setelah melewati generator HHO.

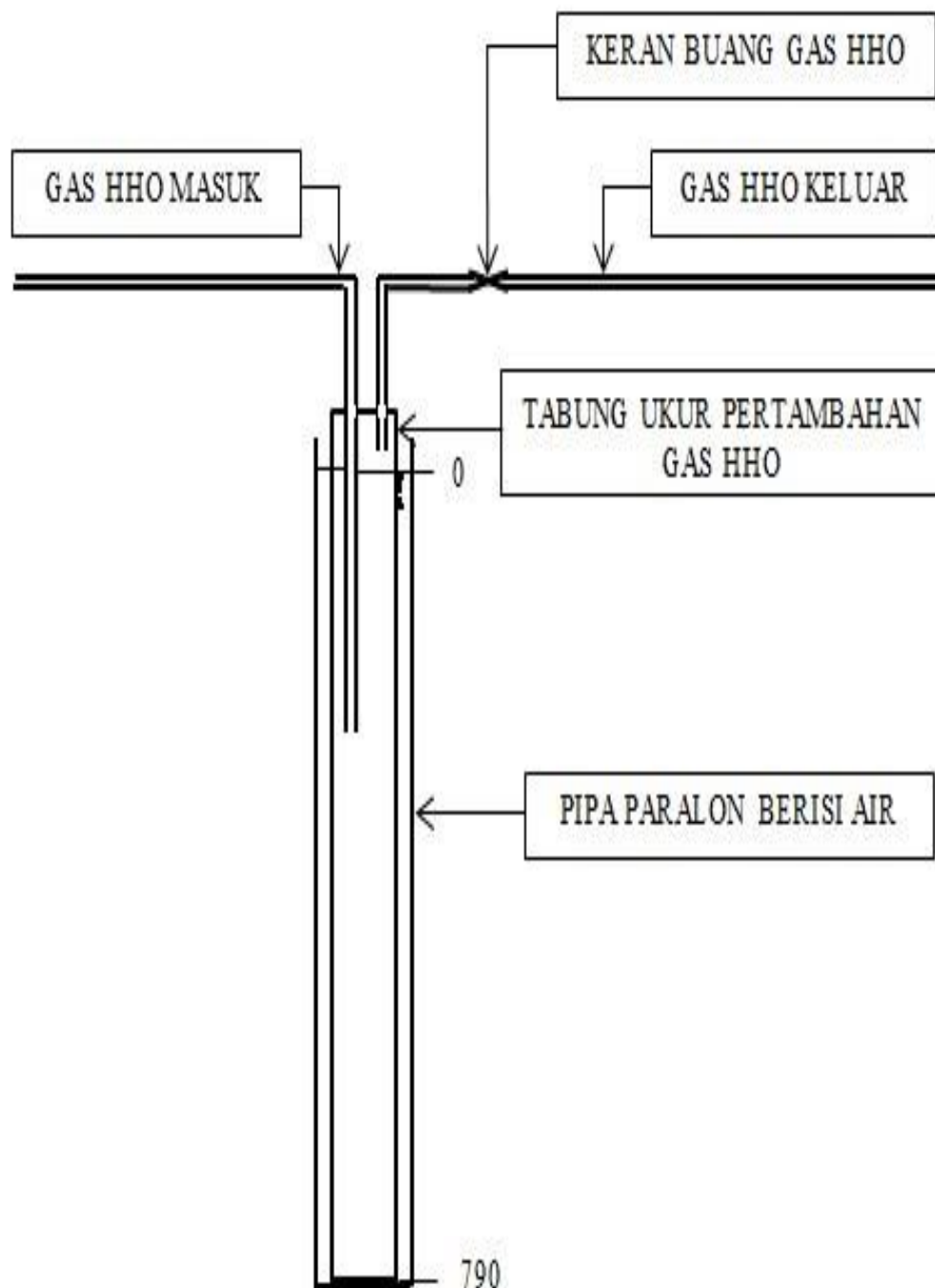
11. Selang

Selang digunakan sebagai alat untuk mengalirkan larutan elektrolit pertama dari wadah elektrolit menuju generator HHO dan dari generator HHO menuju wadah elektrolit kedua.

12. Tabung Ukur Volume *Brown Gas*

Tabung ukur digunakan untuk mengukur seberapa besar pertambahan volume *Brown Gas*. Volume ukur maksimal 1,552 l atau setara 790 mm dan diameter tabung 50 mm. *Brown Gas* Hasil dari proses elektrolisis ditampung dan diukur pertambahannya pada gelas ukur. Gelas ukur itu sendiri ditaruh dalam wadah pipa paralon yang berisi air dengan posisi awal 0 rata dengan air yang terdapat didalam pipa. Keran pada selang output ditutup kemudian gas HHO hasil elektrolisis masuk melalui selang input sehingga menyebabkan gelas ukur terangkat sebesar gas HHO yang masuk. Kemudian dilakukan pengukuran per 10

detik hingga mencapai batas maksimum gelas ukur. Untuk variasi berbeda, dilakukan metode dan cara pengukuran yang sama. Bentuk rancangan instalasi pengukuran dapat dilihat pada gambar 4.15.



Gambar 4.15 Rancangam Instalasi Tabung pengukuran



Gambar 4.16 Tabung Ukur Volume

4.4.2 Bahan Penelitian

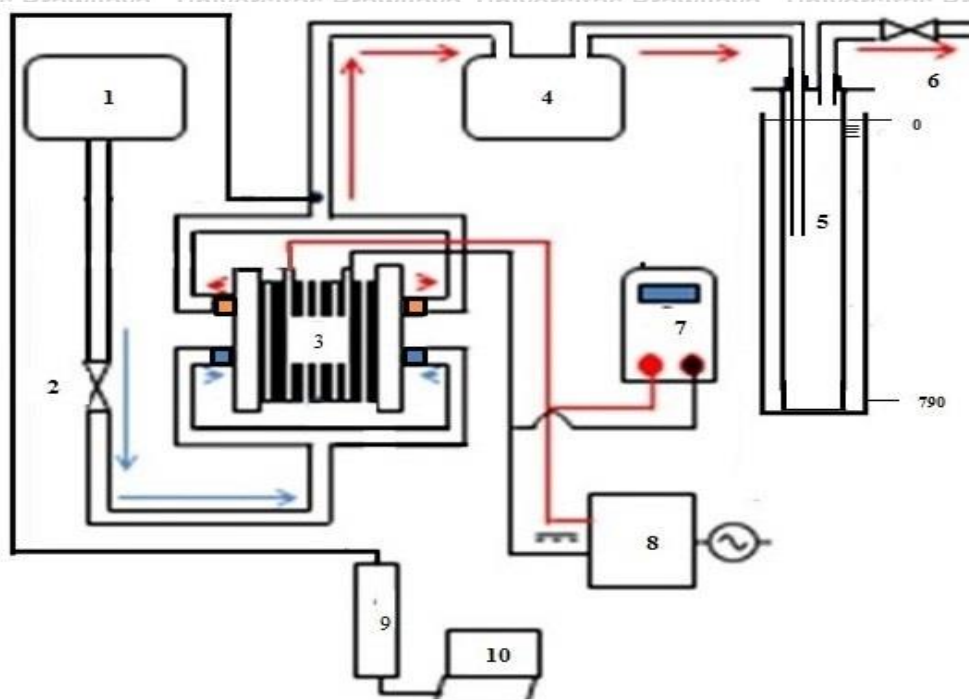
Bahan yang digunakan sebagai katalis adalah NaOH (Natrium Hidroksida) dengan fraksi massa 1,77%, dan kemudian dengan berat 45 g akan dilarutkan di dalam air sebanyak 250 ml.



Gambar 4.17. Katalis NaOH

4.5 Instalasi Alat Penelitian

Instalasi alat penelitian merupakan model dan susunan rangkaian generator HHO tipe kering (*dry cell*) dengan alat-alat penunjang lain.



Keterangan

1. Wadah penampung larutan elektrolit sebelum masuk generator HHO.
2. Keran buka dan tutup elektrolit masuk
3. Generator HHO
4. Wadah penampung elektrolit setelah mengalami elektrolisis
5. Tabung pengukuran pertambahan HHO
6. Keran untuk membuang HHO setelah percobaan sebelumnya
7. Multieter digital
8. Inverter AC ke AC
9. Arduino Nano
10. Laptop

Gambar 4.18 Instalasi Alat Penelitian

4.6 Prosedur Penelitian

4.6.1 Perakitan Alat

Langkah-langkah pelaksanaan perakitan alat yang harus dilakukan demi untuk mendapatkan hasil yang maksimal sebagai berikut :

1. Tahap awal sebelum melakukan perakitan, kita utamakan dahulu keselamatan kerja.
2. Mempersiapkan alat yang diperlukan dalam proses instalasi perakitan seperti kunci untuk mengencangkan baut pada Generator HHO.
3. Langkah instalasi dimulai dengan menghubungkan wadah pertama dengan selang yang siap dihubungkan dengan Generator HHO, begitu pula selang dari generator ke tabung ukur dan wadah penampungan elektrolit setelah melalui proses elektrolisis..

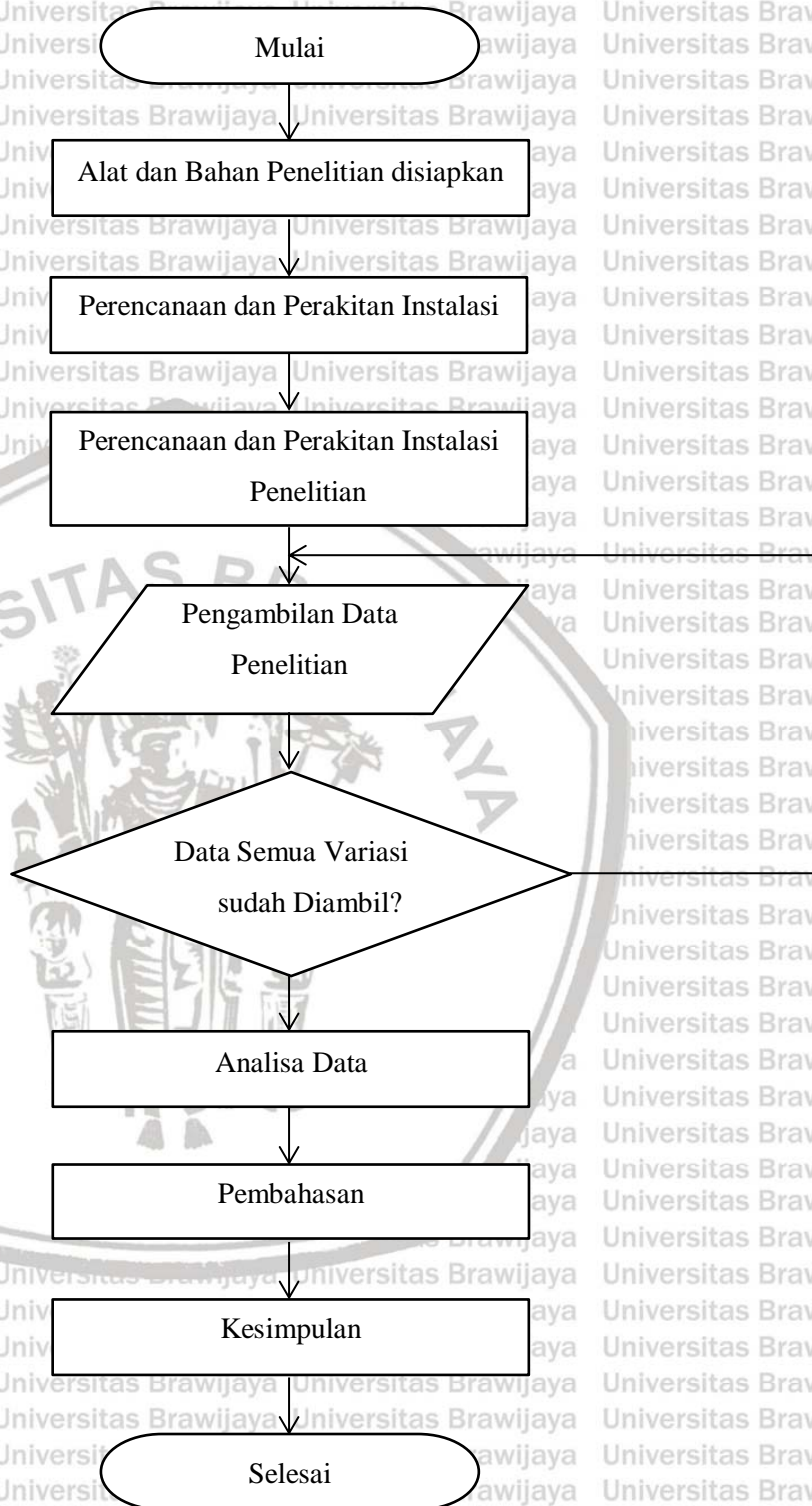
4. Inverter sebagai sumber arus listrik siap untuk dihubungkan dengan elektroda (katoda dan anoda) pada Generator HHO.
5. Pada selang setelah Generator HHO dipasang sensor suhu yang berfungsi untuk mengetahui besar kenaikan suhu dari gas HHO.
6. Kemudian pada tabung ukur volume gas dibagi 2 bagian. Bagian tabung luar diisi dengan air yang mana ketinggian air harus pada posisi 0 mm jika dilihat pada ukuran di tabung ukur agak kecil di dalamnya.
7. Pada masing-masing selang tadi kita pasang keran agar dapat mengunci atau membuka jalur masuk elektrolit dan untuk membuang *Brown Gas* setelah diuji dengan variasi sebelumnya.
8. Perakitan generator HHO dimulai dengan menyiapkan 2 buah casing yang berbahan akrilik bening dan dilubangi masing-masing 6 buah lubang tempat dudukan baut dan mur pengencang dan juga dipasangkan nozzle *inlet* dan *outlet* sebagai jalur keluar masuknya elektrolit. Kemudian kita siapkan O-Ring dengan ketebalan 1.5 mm dan 3 mm dan beberapa variasi bentuk profil elektroda serta variasi diameter lubang elektroda.

4.6.2 Pelaksanaan Penelitian

Proses pelaksanaan penelitian dan pengambilan dimulai dengan langkah-langkah sebagai berikut: Pertama-tama kita susun peralatan sesuai dengan skema, mulai dari wadah penampung larutan elektrolit sebelum melalui generator HHO sampai menghasilkan *Brown Gas*.

1. Penelitian ini menggunakan variasi 4 bentuk elektroda, 4 variasi diameter lubang elektroda dan 3 variasi jumlah pelat netral. pada generator HHO. Dan dimulai dengan menggunakan variasi elektroda polos, diameter lubang 5 mm dan 4 pelat netral.
2. Susun Generator HHO sesuai dengan variasi elektroda polos, 5 mm dan 4 pelat netral. Sebagai contohnya casing pertama, kemudian kita gunakan O-Ring 1.5 mm untuk 2 pelat sisi, kemudian untuk O-Ring diantara elektroda dengan pelat netral kita gunakan 3 mm. dan sesama pelat netral menggunakan O-Ring dengan ketebalan 1.5 mm. kemudian dijepit dengan casing kedua dan diikat dengan baut mur.
3. Pasang Generator HHO tersebut sesuai dengan skema instalasi.

4. Katalis NaOH seberat 45 gr dilarutkan dalam air sebanyak 2,5 liter sebagai larutan elektrolit dan diaduk merata kemudian dituangkan kedalam wadah penampung elektrolit, keran di selang pertama ditutup.
5. Pasang kabel positif dan negatif dari inverter ke instalasi Generator HHO (katoda dan anoda). Kuat arus yang digunakan sebesar 10 A dari inverter.
6. Inverter dijalankan dan pengambilan data dimulai.
7. Pengambilan data diambil setiap 10 detik sampai pada batas ketinggian volume *Brown Gas* mencapai ketinggian 790 mm yang dapat dilihat pada ketinggian tabung ukur.
8. Selalu menambahkan larutan elektrolit ke dalam wadah penampung pertama agar tidak habis.
9. Data yang dicatat berupa tegangan listrik dengan menggunakan multimeter digital dan temperatur larutan elektrolit setelah melewati generator HHO menggunakan sensor suhu yang terhubung dengan *Arduino* pada computer
10. Matikan inverter setiap satu kali melakukan pengujian sambil menunggu suhu yang dibaca *Arduino* kembali normal
11. Lakukan pengujian ini sebanyak tiga kali pada satu variasi, setelah itu larutan elektrolit dibuang.
12. Ulangi pengujian pada generator HHO dengan variasi elektroda polos diameter lubang elektroda 5 mm 6 netral dan 8 netral, kemudian polos, diameter lubang elektroda 8 mm, 4 pelat netral dan 6 pelat netral. Elektroda polos dengan diameter lubang elektroda 10 mm, 4 pelat netral, 6 pelat netral dan 8 pelat netral. Dan pada bentuk elektroda polos, diameter lubang elektroda 12 mm, 4 pelat netral, 6 pelat netral dan 8 pelat netral. Langkah 12 diulangi pada bentuk profil elektroda persegi, lingkaran dan silang.
13. Setelah semua data telah terkumpul, lakukan pengolahan terhadap data-data tadi untuk memperoleh produktifitas *Brown Gas*, daya yang dibutuhkan Generator HHO dan efisiensi generator HHO.

Diagram Alir Penelitian.

Gambar 4.19 Diagram Alir Penelitian

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisa Data

Perhitungan dan analisa data terhadap hasil dari penelitian dapat dihitung berdasarkan rumus yang telah ditentukan pada bab sebelumnya. Data yang telah diperoleh kemudian dihitung untuk mencari nilai konsumsi daya generator HHO, volume, produktifitas *Brown Gas* dan efisiensi generator HHO. Berikut ini contoh tabel pengamatan parameter - parameter hasil penelitian yang dibutuhkan sebagai acuan dalam menghitung nilai P, Q dan η .

Table 5.1 adalah contoh hasil pengamatan parameter-parameter yang dibutuhkan terhadap generator HHO dengan variasi bentuk elektroda polos, diameter Lubang elektroda 5 mm dan menggunakan 4 pelat netral

Table 5.1 Hasil penelitian terhadap generator HHO variasi elektroda polos,

	t (sekon)	Tegangan (V)				Arus (A)				Kenaikan (mm)			T (°C)				
	Polos 5 mm, 4 Pelat Netral	10	18.8	18.9	18.3		10	10	9.9		10	8	8		30	29.75	30.25
20		18.7	18.4	18.2		10	10	9.9		19	17	15		30.75	30.75	31	
30		18.5	18.4	18.1		10	10	9.9		29	26	26		31	31	31.5	
40		18.4	18.4	18.3		10	9.9	9.9		35	36	36		31.25	31.25	31.5	
50		18.3	18.3	18.2		10	9.9	9.8		48	45	45		31.5	31.5	31.75	
60		18.2	18.3	18		10	9.9	9.8		56	54	54		31.75	31.75	31.75	
70		18.2	18.3	18		10	9.8	9.8		66	62	63		32	31.75	32	
80		18.2	18.2	18		9.9	9.8	9.8		75	72	72		32.25	31.75	32	
90																	
100																	
Rata-rata		18.4	18.4	18.1	18.3	10.0	9.9	9.9	9.9	42.25	40	39.875	40.71	31.31	31.19	31.47	31.32

1. Konsumsi daya generator HHO.

Perhitungan daya generator HHO dilakukan untuk mengetahui besar daya generator dalam proses elektrolisis untuk menghasilkan *Brown Gas*. Rumus yang dipakai dalam perhitungan ini dapat dilihat pada bab II persamaan (2-13)

$$P = V \cdot I$$

P = Daya yang dibutuhkan generator HHO (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Kuat arus listrik (Ampere)

$$P = 18.3 \times 9.9$$

$$= 181.64 \text{ Watt.}$$

2. Volume *Brown Gas*.

Volume *Brown Gas* dapat dihitung menggunakan rumus luas alas x tinggi.

Brown Gas yang dihasilkan ditampung pada tabung ukur dengan diameter tabung 50 mm, jadi rumus dapat ditulis :

$$V = \frac{(22.25.25)}{7}$$

Kemudian hasil tersebut dibagi dengan nilai pengamatan pertambahan *Brown Gas* setiap 10 detik. Hasil pengamatan table 5.1 setelah melalui perhitungan mendapatkan nilai $V = 0,8$.

3. Produktifitas *Brown Gas*.

Rumus yang digunakan dalam perhitungan pertambahan *Brown Gas* dapat dilihat pada persamaan (2-14)

$$Q = \frac{v}{t} \left[\frac{l}{s} \right]$$

Q = Produktifitas *Brown Gas*

v = Volume *Brown Gas*

t = Waktu yang digunakan untuk menghasilkan *Brown Gas*.

Nilai volume *Brown Gas* yang diperoleh kemudian dibagi waktu sehingga :

$$Q = 0.01761 \left[\frac{l}{s} \right]$$

4. Efisiensi Generator HHO.

Nilai efisiensi Generator HHO sangat dibutuhkan untuk mengetahui seberapa efisien generator HHO tipe *dry cell* ini dengan beberapa variasi susunan generator dan dapat dihitung menggunakan rumus pada persamaan (2-19).

$$\eta = \frac{\text{Energi yang dimiliki oleh HHO hasil elektrolisis}}{\text{Energi yang dibutuhkan untuk memproduksi gas HHO}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{M_{\text{HHO}} \times LHV_{\text{HHO}}}{p} \times 100\%$$

Q_{HHO} = Debit Gas HHO yang dihasilkan pada proses elektrolisis (l/s)

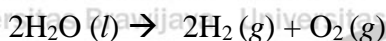
LHV_{HHO} = Nilai energi terendah yang diperlukan agar gas HHO dapat bereaksi (J/gr)

ρ_{HHO} = Massa jenis gas HHO (gr/l)

$P = \text{Daya yang digunakan (Watt)}$

- **Massa Jenis Gas HHO**

Pada persamaan reaksi kimia yang terjadi pada elektrolisis di generator HHO terdapat kandungan massa oksigen (O_2) dan hidrogen (H_2). Misalkan massa air (H_2O) yang reaksi pada sebuah generator HHO adalah 1 kg, maka hasil produk *Brown's gas* yang merupakan massa total hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2) adalah 1 kg. Menurut tabel periodik nilai $M_r H_2O=18$, $M_r H_2=2$, $M_r O_2=32$, maka didapatkan mol H_2 :



$$36 \text{ kg} \quad 4 \text{ kg} \quad 32 \text{ kg}$$

$$\frac{36}{36} \text{ kg} \quad \frac{4}{36} \text{ kg} \quad \frac{32}{36} \text{ kg}$$

$$1 \text{ kg} \quad \frac{1}{9} \text{ kg} \quad \frac{8}{9} \text{ kg}$$

Dari persamaan dapat di ketahui berapa nilai massa jenis dari *Brown Gas* tersebut.

Jika pada kondisi STP (*Standard Temperature Pressure*) massa jenis H_2 diketahui $\rho_{H_2} = 0.08235 \text{ g/l}$ dan O_2 sebesar $\rho_{O_2} = 1.3088 \text{ g/l}$ (Cole Parmer Instrument, 2005), maka ρ_{HHO} dapat diketahui dengan persamaan berikut ini :

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

$$\rho_{HHO} = \left(\frac{2}{3} \times 0,08235 \frac{g}{l}\right) + \left(\frac{1}{3} \times 1,3088 \frac{g}{l}\right) = 0.491167 \text{ g/l}$$

- **Low Heating Value Brown Gas**

Gas hidrogen mempunyai nilai kalor sebesar 119,93 kJ/g , Jika massa H_2 dalam *Brown's gas* adalah sebesar 1/9, maka nilai LHV (*Lower Heating Value*) *Brown's gas* merupakan 1/9 kali dari nilai LHV (*Lower Heating Value*) gas H_2 , yaitu = $1/9 \times 119,93 \text{ kJ/gr} = 13,25 \text{ kJ/gr}$ atau 13250 J/gr.

Dari tabel 5.1 maka efisiensi dari *electrolyzer dry cell* tersebut adalah:

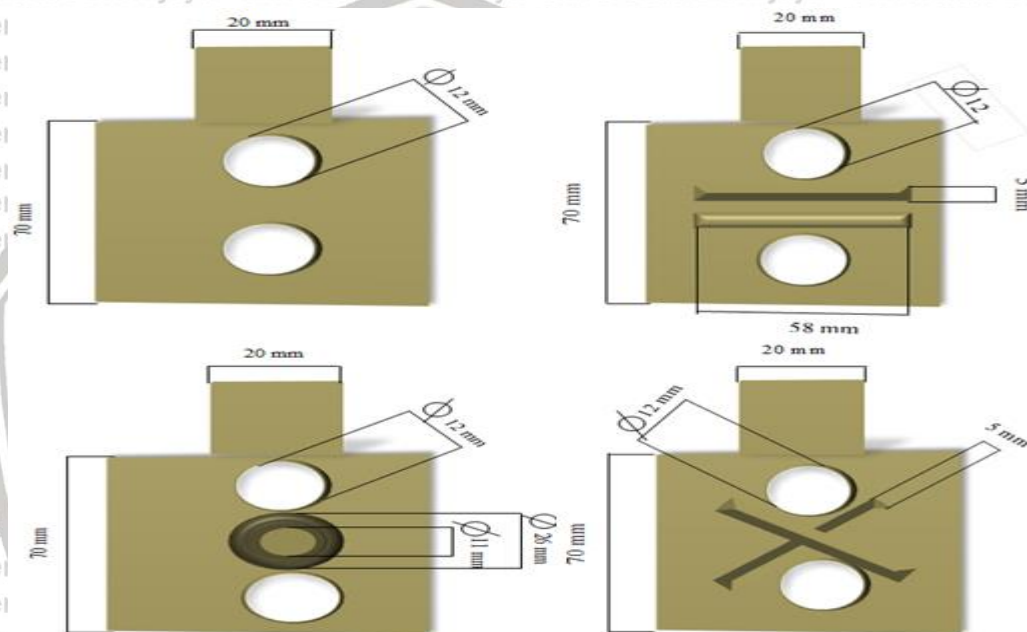
$$\begin{aligned} \eta &= \frac{0,0176 \left[\frac{l}{s}\right] \times 0.491167 \left[\frac{gr}{l}\right] \times 13250 \text{ J/g}}{181,64} \times 100\% \\ &= 63.01\% \end{aligned}$$

5.2 Perhitungan Data

5.2.1 Perhitungan Daya Generator HHO

Sebelum Kita melakukan penghitungan Daya Generator HHO, Volume, Produktifitas Generator dan Efisiensi Generator, terlebih dahulu kita harus mengetahui luas penampang elektroda. Hal ini dimaksudkan karena terdapat 4 variasi bentuk elektroda. Luas penampang elektroda yang dimaksud adalah bagian elektroda pada generator HHO yang bersentuhan dengan larutan elektrolit.

Seberapa besar atau kecilnya luas penampang elektroda sangat berpengaruh terhadap nilai keempat variabel diatas.



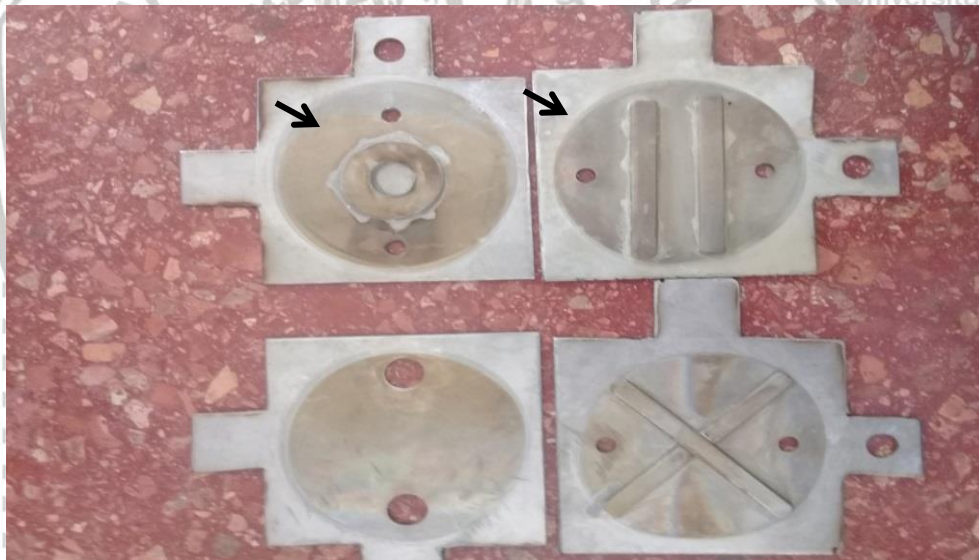
Gambar 5.1 Sketsa Bentuk Elektroda

Table 5.2 Luas Penampang Elektroda

Diameter Lubang Elektroda	Profil Elektroda	Luas Permukaan (mm^2)			
		Polos	Persegi	Lingkaran	Silang
5 mm		5612.75	6462.35	5821.874	6030.35
8 mm		5551.52	6401.12	5760.644	5969.1
10 mm		5495	6344.6	5704.124	5912.6
12 mm		5385.92	6235.52	5595.044	5803.5

Luas permukaan elektroda sangat berpengaruh terhadap daya generator HHO. Tabel 5.2 diperoleh bahwa elektroda bentuk persegi dan silang memiliki

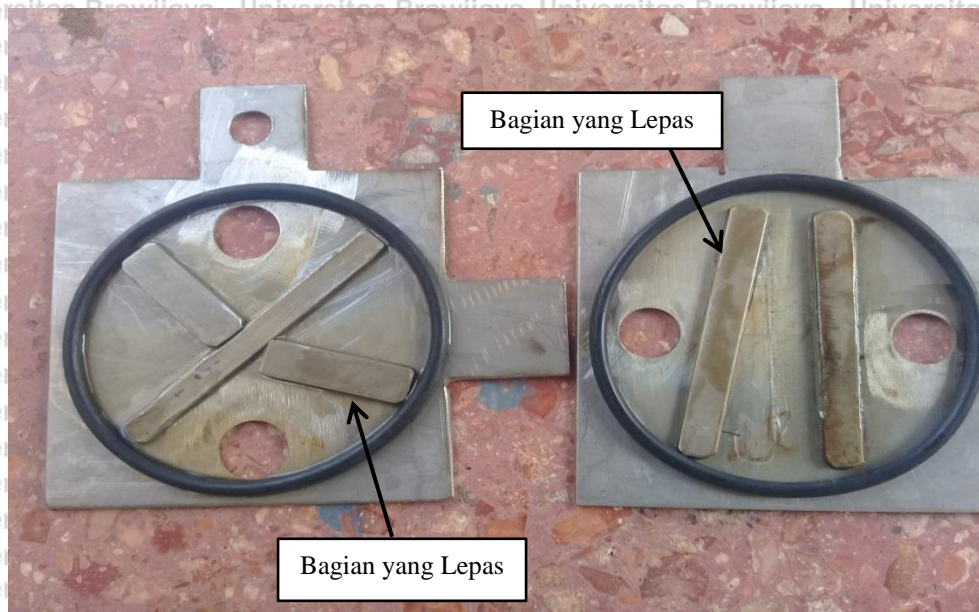
luas permukaan yang tidak jauh berbeda, dengan demikian daya yang dibutuhkan juga semakin besar untuk melakukan proses elektrolisis terhadap kedua bentuk elektroda tersebut. Berdasarkan data tersebut dipastikan konsumsi daya terbesar terjadi pada bentuk silang 5 mm dan terendah pada bentuk polos diameter lubang elektroda 12 mm. Bentuk elektroda polos dengan diameter lubang elektroda 12 mm, 4 pelat netral dengan luas penampang elektroda $2715,429 \text{ mm}^2$, hanya membutuhkan daya 139,3 Watt untuk melakukan proses elektrolisis. Tetapi justru yang tertinggi pada variasi silang diameter lubang elektroda 10 mm. faktor yang mempengaruhi diantaranya bentuk yang ditempelkan pada elektroda sering lepas akibat dilewati oleh elektrolit sehingga mengurangi daya rekat lem pada variasi yang dipasang pada elektroda. Dengan demikian daya yang diperoleh tidak sesuai. Akan tetapi nilai dari penghitungan Konsumsi daya generator pada kedua jenis ini tidak berbeda jauh. Gambar 5.2 elektroda setelah dipakai dalam proses elektrolisis.



Gambar 5.2 Na^+ Yang Menempel Pada Elektroda.

Pada gambar 5.2 terlihat jelas terdapat sisa endapan Na^+ yang terjebak pada bagian bawah elektroda sehingga proses menjadi kurang sempurna. Proses akan menjadi sempurna apabila elektrolit yang masuk ke dalam generator yang lebih utama yang melewati elektroda harus bereaksi sempurna sebelum meninggalkan generator. Akan tetapi dari gambar ini terlihat ada sisa endapan dari elektrolit yang belum bereaksi sempurna tetapi sudah harus keluar dari generator

HHO. Begitu juga dengan unsur yang terkandung pada lem tang dipakai sebagai perekat bagian variasi. Dipastikan ikut tercampur dengan larutan elektrolit.



Gambar 5.3 Variasi Elektroda Usai Proses Elektrolisis

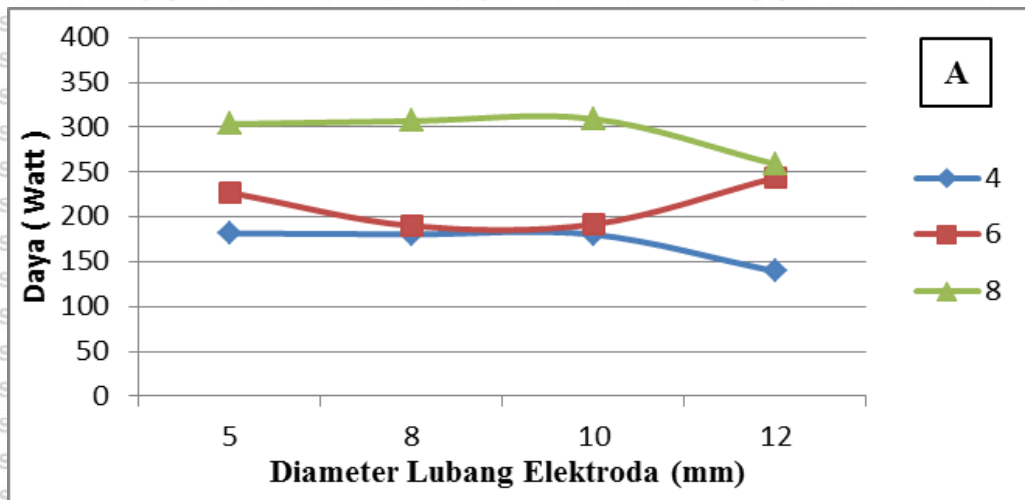
Hasil perhitungan daya Generator HHO terhadap setiap variasi dapat dilihat pada tabel 5.3

Tabel 5.3 Hasil Perhitungan Daya Generator HHO

Diaeter Lubang Elektroda	Polos			Persegi			Lingkar			Silang		
	4	6	8	4	6	8	4	6	8	4	6	8
5	181.6	227.2	303.61	155.3	244.5	267.44	157.5	211.7	233.9	185.9	219.4	241.42
8	180.6	190	306.9	148	242.3	308.4	160.7	219	284.9	166.5	214.4	241.4
10	180.3	191.7	309.3	133.6	303.1	311.1	192.6	291.4	334.3	173	213.5	353.4
12	139.3	243.6	258.9	140.2	269.2	326.6	184.3	234.1	338.7	217.8	287.2	338.7

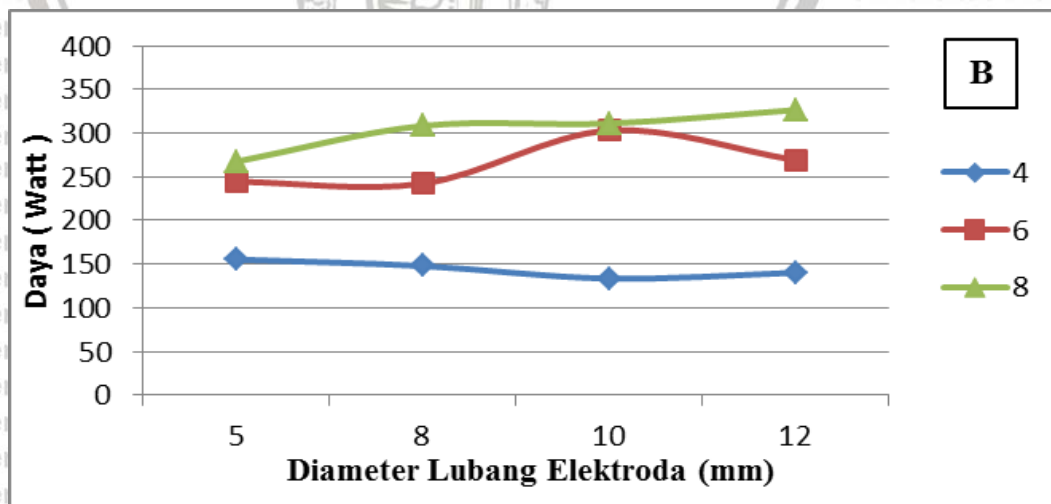
Dari hasil perhitungan daya (Q) pada tabel 5.3 terlihat jelas penambahan pelat netral sangat berpengaruh terhadap konsumsi daya Generator HHO. Tabel 5.3 membuktikan bahwa semakin banyak pelat netral yang digunakan pada generator, maka daya yang dibutuhkan semakin besar pula. Hal ini dikarenakan banyaknya larutan elektrolit yang bereaksi di dalam generator HHO, sehingga dibutuhkan daya yang lebih besar untuk melakukan proses elektrolisis. Daya paling kecil pada variasi bentuk elektroda polos, diameter lubang Elektroda 12

mm, menggunakan 4 pelat netral yaitu 139,3 Watt. Sedangkan daya terbesar pada variasi bentuk elektroda silang, diameter lubang elektroda 10 mm, 8 pelat netral yaitu 353,4 Watt.



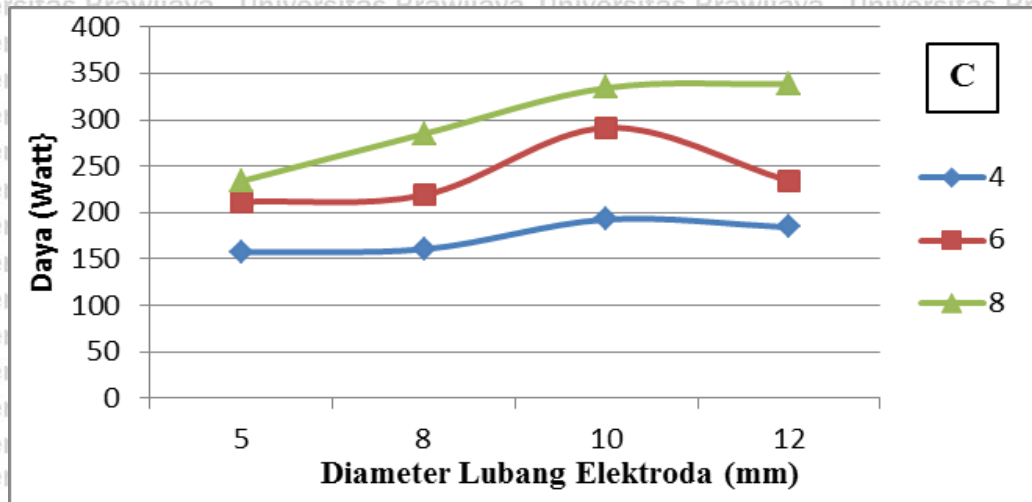
Gambar 5.4 Grafik Hubungan Diameter Lubang Elektroda Terhadap Daya Yang Diperlukan Generator HHO Pada Berbagai Variasi Jumlah Pelat Netral Dengan bentuk Elektroda Polos.

Konsumsi daya terbesar pada generator HHO dengan variasi 8 pelat netral. Ini disebabkan luas area pada generator tersebut bertambah sehingga proses elektrolisis semakin panjang sebelum menghasilkan gas HHO. Dan terhadap diameter lubang elektroda 12 mm terjadi penurunan daya disebabkan laju aliran elektrolit semakin cepat terutama pada 4 pelat netral dan 8 pelat netral



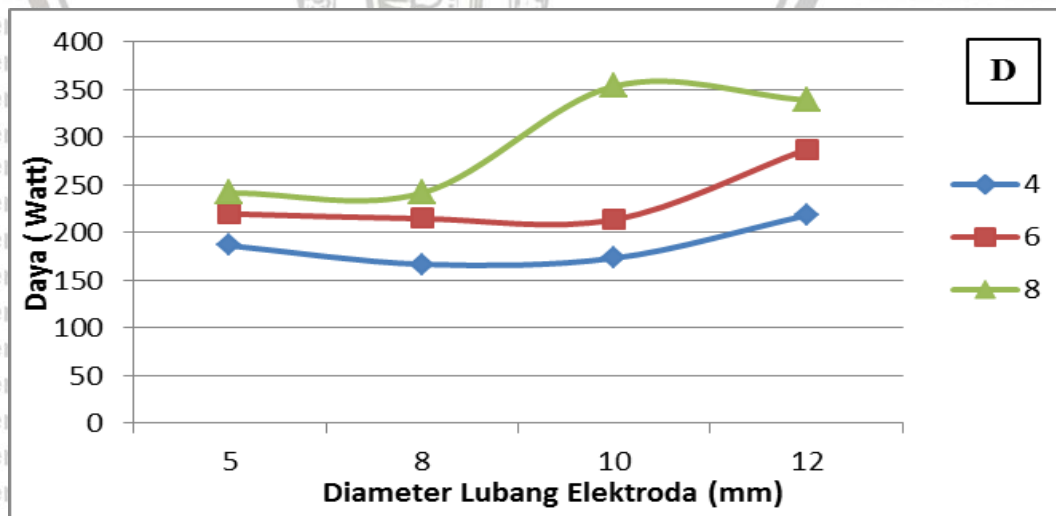
Gambar 5.5 Grafik Hubungan Diameter Lubang Elektroda Terhadap Daya Yang Diperlukan Generator HHO Pada Berbagai Variasi Jumlah Pelat Netral Dengan bentuk Elektroda Persegi.

Gambar 5.5 menunjukkan bahwa konsumsi daya generator terhadap jumlah pelat netral masih tetap pada variasi 8 pelat netral. Dan pengaruh daya terhadap diameter lubang elektroda cenderung meningkat. Konsumsi daya terbesar terjadi pada variasi 8 pelat netral dan diameter lubang elektroda 12 mm yaitu 326.6 Watt.



Gambar 5.6 Grafik Hubungan Diameter Lubang Elektroda Terhadap Daya Yang Diperlukan Generator HHO Pada Berbagai Variasi Jumlah Pelat Netral Dengan bentuk Elektroda Lingkaran.

Konsumsi daya generator terbesar masih terjadi pada generator HHO menggunakan 8 pelat netral dan diameter lubang elektroda 12 mm seperti terlihat pada gambar 5.6 yaitu 338.7 Watt. Akan tetapi pada variasi 6 pelat netral terjadi penurunan konsumsi daya. Hal ini bisa disebabkan bentuk profil yang lepas.



Gambar 5.7 Grafik Hubungan Diameter Lubang Elektroda Terhadap Daya Yang Diperlukan Generator HHO Pada Berbagai Variasi Jumlah Pelat Netral Dengan bentuk Elektroda Silang.

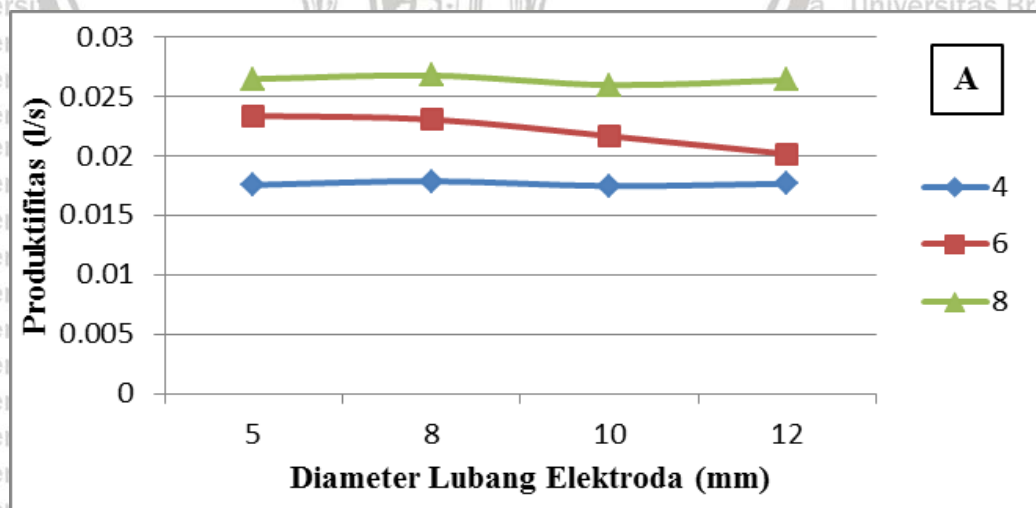
Gambar 5.7 menunjukkan bentuk grafik yang hampir sama dengan grafik sebelumnya yang mana jumlah pelat netral sangat berpengaruh terhadap konsumsi daya. Tetapi terhadap diameter lubang elektroda terdapat penyimpangan pada variasi 8 pelat netral dan diameter lubang elektroda 12 mm.

5.2.2 Perhitungan Produktifitas *Brown Gas*.

Tabel 5.4 Hasil Perhitungan Produktifitas *Brown Gas*.

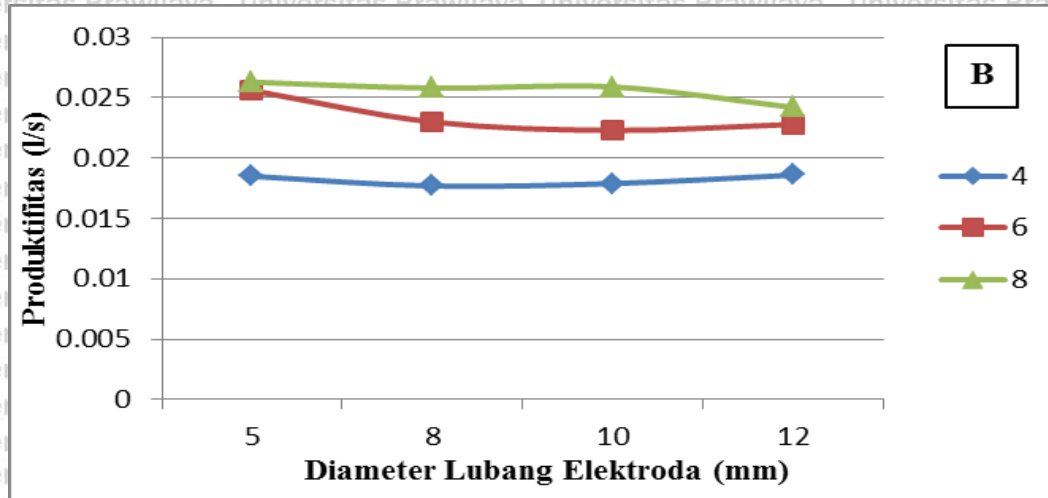
Elektroda	Polos			Persegi			Lingkaran			Silang		
	4	6	8	4	6	8	4	6	8	4	6	8
5	0.0176	0.0234	0.0265	0.0185	0.026	0.0263	0.0182	0.0211	0.0247	0.0207	0.0224	0.0241
8	0.0179	0.0231	0.0268	0.0177	0.023	0.0258	0.0196	0.0205	0.025	0.0191	0.0217	0.0238
10	0.0175	0.0217	0.026	0.0179	0.022	0.0259	0.0183	0.0225	0.0268	0.0199	0.0215	0.0287
12	0.017	0.0202	0.0264	0.0186	0.023	0.0242	0.0189	0.0211	0.0251	0.0195	0.0235	0.0251

Hasil perhitungan pada tabel 5.4 menunjukkan produktifitas terbesar terjadi pada variasi bentuk Elektroda silang 10 mm dengan menggunakan 8 pelat netral sebesar 0.0287 l/s dan terendah pada variasi elektroda polos diameter 5 mm, 4 pelat netral yaitu sebesar 0.0175 l/s.



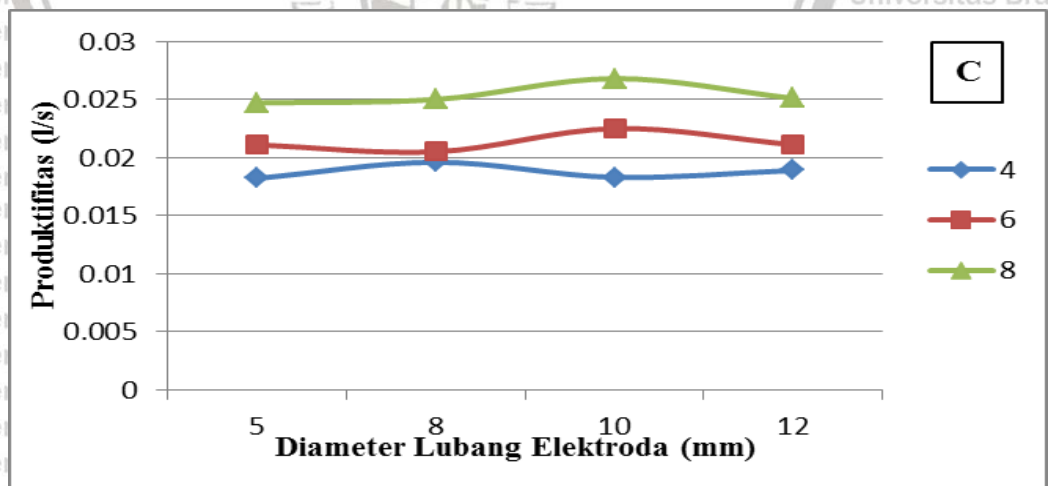
Gambar 5.8 Grafik Hubungan Diameter Lubang Elektroda Terhadap Produktifitas *Brown Gas* Pada Berbagai Variasi Jumlah Pelat Netral Dengan Bentuk Elektroda Polos.

Gambar 5.8 menunjukkan bentuk grafik yang relatif stabil terhadap variasi diameter lubang elektroda. Peningkatan produktifitas terjadi pada variasi jumlah pelat netral. Produktifitas terbesar terjadi pada variasi 8 pelat netral dan diameter lubang elektroda 8 mm yaitu sebesar 0.0268 l/s.



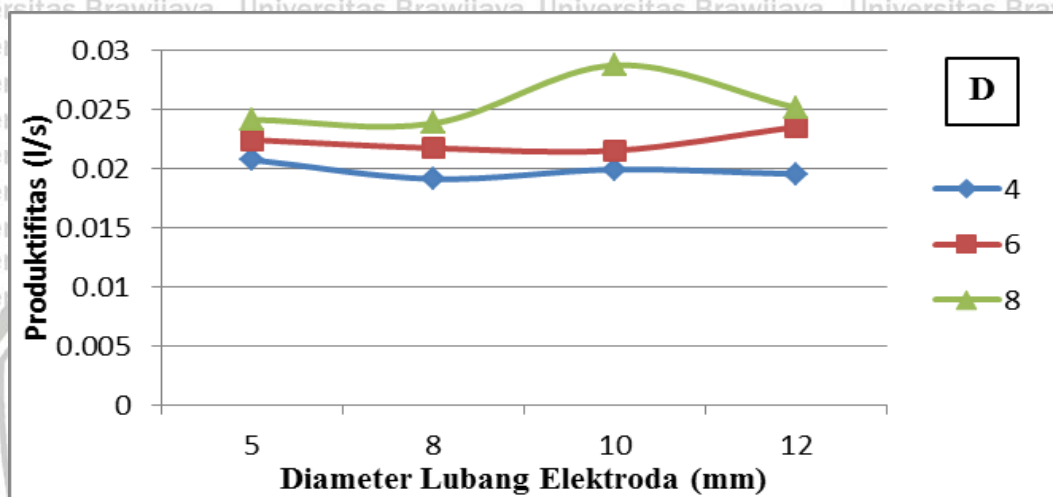
Gambar 5.9 Grafik Hubungan Diameter Lubang Elektroda Terhadap Produktifitas *Brown Gas* Pada Berbagai Variasi Jumlah Pelat Netral Dengan Bentuk Elektroda Persegi.

Pada gambar 5.9 terlihat jelat hampir mirip dengan bentuk grafik pada gambar 5.8. Produksi terbesar terjadi pada generator dengan 8 pelat netral dan diameter lubang elektroda 5 mm yaitu sebesar 0,0265 l/s.



Gambar 5.10 Grafik Hubungan Diameter Lubang Elektroda Terhadap Produktifitas *Brown Gas* Pada Berbagai Variasi Jumlah Pelat Netral Dengan Bentuk Elektroda Lingkaran.

Hubungan diameter lubang elektroda terhadap produktifitas *Brown Gas* pada berbagai variasi jumlah pelat netral dengan bentuk elektroda lingkaran dapat dilihat pada gambar 5.10 yang mana pengaruh jumlah pelat netral masih sangat mempengaruhi produktifitas *Brown Gas*. Pada variasi jumlah pelat netral 6 dan 8 terlihat agak berbeda dengan 4 pelat netral. perbedaan bentuk grafik terutama variasi diameter lubang elektroda. Produktifitas tertinggi pada bentuk profil elektroda lingkaran yaitu pada variasi 8 pelat netral dan diameter lubang elektroda 10 mm yaitu sebesar 0.0268 l/s.



Gambar 5.11 Grafik Hubungan Diameter Lubang Elektroda Terhadap Produktifitas *Brown Gas* Pada Berbagai Variasi Jumlah Pelat Netral Dengan Bentuk Elektroda Silang.

Gambar 5.11 menunjukkan bahwa Variasi generator HHO dengan 8 pelat netral memiliki produktifitas tertinggi, tetapi pada bentuk grafik 8 pelat netral dengan diameter lubang elektroda 12 mm terjadi penurunan produktifitas. Hal ini bisa diakibatkan penambahan profil yang lepas seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya.

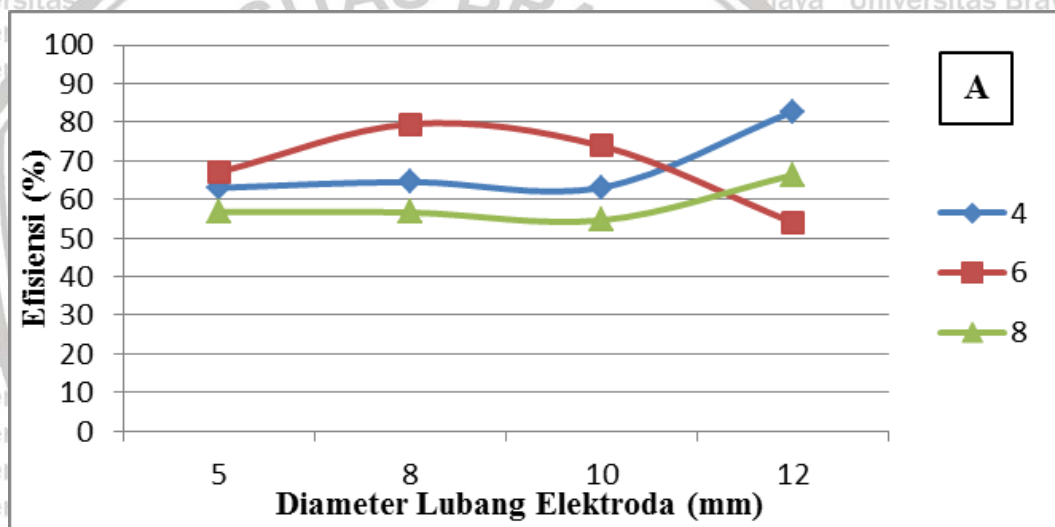
5.2.4 Perhitungan Efisiensi Generator HHO

Efisiensi Generator HHO terbesar terdapat pada susunan generator dengan variasi elektroda bentuk persegi, menggunakan 4 pelat netral dan diameter lubang elektroda 12 mm yaitu sebesar 86,5 %. Sedangkan efisiensi terkecil pada variasi generator HHO menggunakan bentuk elektroda lingkaran, menggunakan 8 pelat netral dan diameter lubang elektroda 12 mm yaitu sebesar 48,3 %.

Tabel 5.5 Hasil Perhitungan Efisiensi Generator HHO.

Diameter Lubang	Polos			Persegi			Lingkaran			Silang		
	4	6	8	4	6	8	4	6	8	4	6	8
5	63.01	67.12	56.77	77.71	68.4	64.14	75.32	64.93	68.63	72.6	66.49	64.97
8	64.5	79.5	56.6	78.1	62	54.5	79.6	61	57	74.8	66	64.2
10	63.1	73.8	54.6	87	47.9	54.2	61.9	50.4	52.2	74.7	65.5	53
12	82.8	54	66.3	86.5	55.1	48.4	66.6	58.8	48.3	58.3	53.3	50

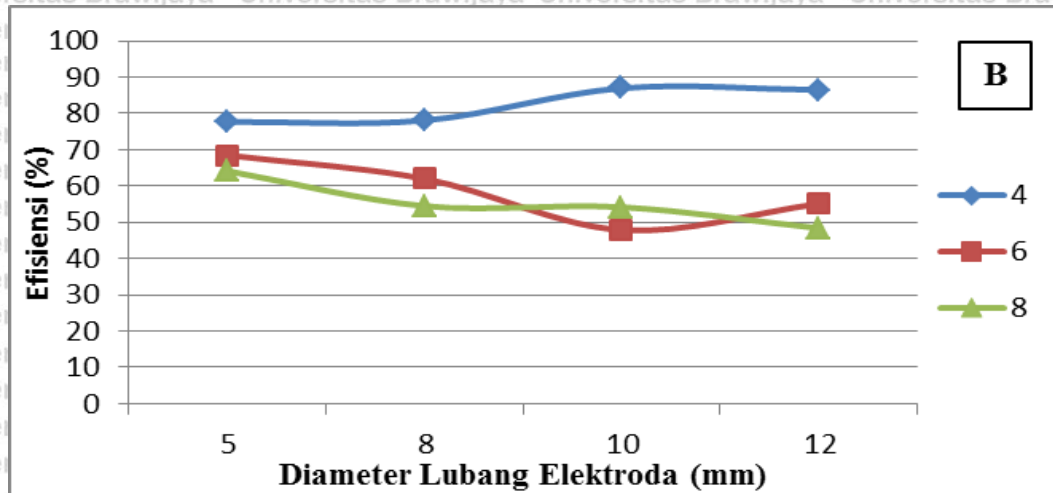
Tabel 5.5 menunjukkan bahwa penambahan pelat netral akan menurunkan nilai efisiensi generator HHO. Akan tetapi diameter lubang serta bentuk elektroda juga tidak boleh diabaikan. Hal ini berbanding terbalik dengan produktifitas *Brown Gas*, semakin banyak pelat netral akan menambah laju produktifitas *Brown Gas*.



Gambar 5.12 Grafik Hubungan Diameter Lubang Elektroda Terhadap Efisiensi Generator HHO Pada Berbagai Variasi Jumlah Pelat Netral Dengan Bentuk Elektroda Polos.

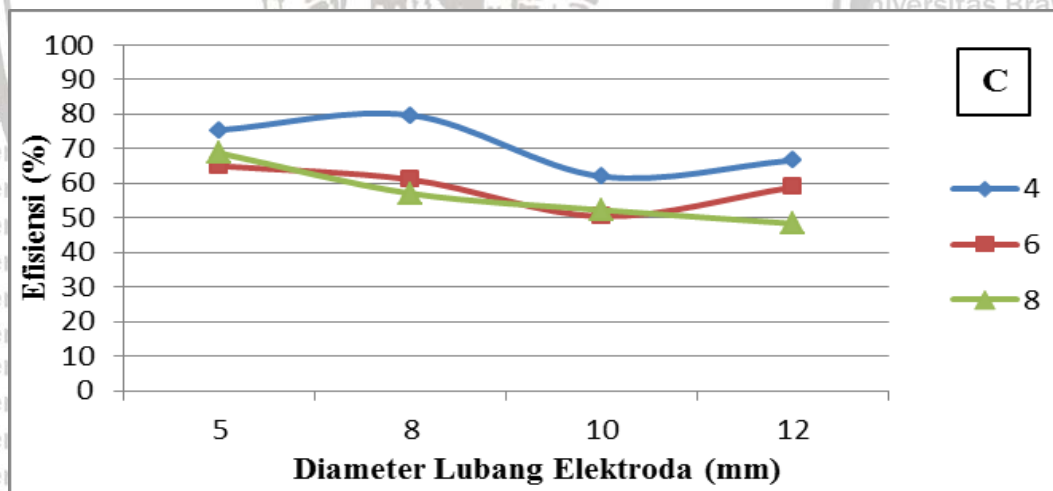
Efisiensi generator HHO tertinggi pada variasi susunan generator menggunakan 4 pelat netral dan diameter lubang elektroda 12 mm sebesar 82.8 %.

Terlihat pada gambar 5.12, variasi 4 pelat netral pada diameter lubang elektroda 5,6 dan tidak terjadi perubahan yang signifikan, tetapi pada diameter lubang elektroda 12 mm terjadi peningkatan efisiensi yang signifikan. Begitu pula dengan bentuk grafik pada variasi 8 pelat netral.



Gambar 5.13 Grafik Hubungan Diameter Lubang Elektroda Terhadap Efisiensi Generator HHO Pada Berbagai Variasi Jumlah Pelat Netral Dengan Bentuk Elektroda Persegi.

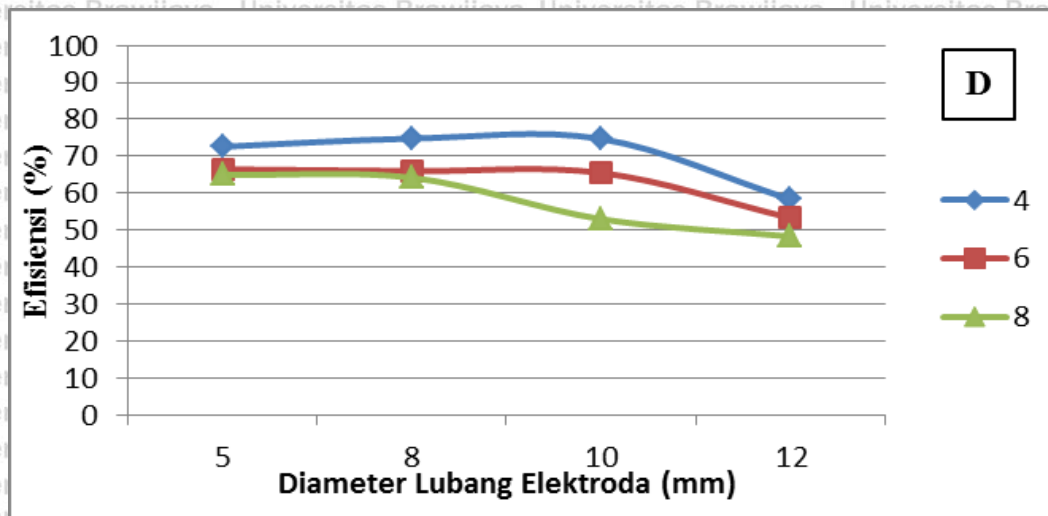
Gambar 5.13 menunjukkan produktifitas tertinggi pada variasi 4 pelat netral dan yang tertinggi pada variasi generator 4 pelat netral dan diameter lubang elektroda 10 mm sebesar 87 %.



Gambar 5.14 Grafik Hubungan Diameter Lubang Elektroda Terhadap Efisiensi Generator HHO Pada Berbagai Variasi Jumlah Pelat Netral Dengan Bentuk Elektroda Lingkaran.

Grafik hubungan diameter lubang elektroda terhadap efisiensi generator HHO pada berbagai variasi jumlah pelat netral dengan bentuk elektroda lingkaran dapat dilihat pada gambar 5.14. Variasi 4 pelat netral memiliki efisiensi tertinggi

dan yang tertinggi pada variasi 4 pelat netral dan diameter lubang elektroda 8 mm sebesar 79.6 %.



Gambar 5.15 Grafik Hubungan Diameter Lubang Elektroda Terhadap Efisiensi Generator HHO Pada Berbagai Variasi Jumlah Pelat Netral Dengan Bentuk Elektroda Silang.

Gambar 5.15 menunjukkan bahwa dari variasi pelat netral 4, 6 dan 8, produktifitas tertinggi terjadi pada variasi 4 pelat netral. Akan tetapi terhadap variasi diameter lubang elektroda perbedaan bentuk grafik. Hal ini bisa disebabkan besar tegangan yang dihasilkan inverter yang rendah serta suhu sekitar saat melakukan penelitian.

RIWAYAT HIDUP

Henry Valentino de Fretes, lahir di kota Ambon tgl 20 November 1972. Putra pertama dari Alm. Bapak Rudolf R de Fretes dan Alm. Ibu Costansa F de Fretes. Pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 11 Ambon (1979 -1985), kemudian melanjutkan pendidikan Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Ambon (1985 – 1988), dan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 2 Ambon (1988 – 1991). Melanjutkan studi S1 di Universitas Pattimura Ambon, Fakultas Teknik Jurusan Permesinan Kapal (1993 – 2001). Kemudian 2013 melanjutkan pendidikan jenjang Magister di Universitas Brawijaya, Program Studi Teknik Mesin dengan kekhususan Konversi Energi dan diselesaikan pada tahun 2018.

Malang, Juli 2018

Henry V de Fretes

