

**PENGARUH VARIASI SUSUNAN POSISI LUBANG DAN JUMLAH
PELAT NETRAL TERHADAP PRODUKTIVITAS *BROWN'S GAS* TIPE
*DRY CELL***

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**MUHAMAD FARHAN DIESA
NIM. 145060200111050**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**

LEMBAR PENGESAHAN
PENGARUH VARIASI SUSUNAN POSISI LUBANG DAN JUMLAH
PELAT NETRAL TERHADAP PRODUKTIVITAS *BROWN'S GAS*
TIPE *DRY CELL*

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



MUHAMAD FARHAN DIESA
NIM. 145060200111050

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal

DOSEN PEMBIMBING I

Dr.Eng. Denny Wichayanuriyawan, ST., MT.
NIP 19750113 200012 1 001

DOSEN PEMBIMBING II

Redi Bintarto, ST., M.Eng. Pract
NIP 20160781 1024 1 001

Mengetahui,
KETUA PROGRAM STUDI S1



Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP 19740930 200012 1 001



JUDUL SKRIPSI:

PENGARUH VARIASI SUSUNAN POSISI LUBANG DAN JUMLAH PELAT NETRAL TERHADAP PRODUKTIVITAS *BROWN'S GAS* TIPE *DRY CELL*

Nama Mahasiswa : Muhamad Farhan Diesa
NIM : 145060200111050
Program Studi : Teknik Mesin
Minat : Teknik Konversi Energi

KOMISI PEMBIMBING

Pembimbing I : Dr. Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST., MT.
Pembimbing II : Redi Bintarto, ST., M.Eng. Pract

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.
Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng.
Dosen Penguji 3 : Haslinda Kusumaningsih, ST., M.Eng.

Tanggal Ujian : 9 Juli 2018
SK Penguji : 1388/UN10.F07/SK/2018



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

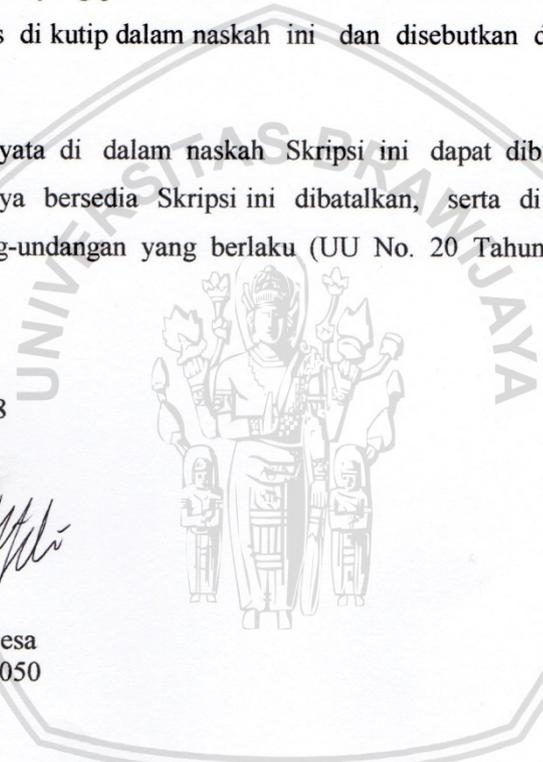
Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi ini dibatalkan, serta di proses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70)

Malang, 20 Juli 2018

Mahasiswa



Muhamad Farhan Diesa
Nim. 145060200111050





Teriring ucapan Terimakasih Untuk
Ayah, Ibu dan Kakak Tercinta
Atas Dukungan dan Doa Selama Ini



RINGKASAN

Muhamad Farhan Diesa, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2018, Pengaruh Variasi Susunan Posisi Lubang dan Jumlah Pelat Netral Terhadap Produktivitas *Brown's Gas* Tipe *Dry Cell*, Dosen Pembimbing : Denny Widhiyanuriyawan dan Redi Bintarto

Air memiliki potensi yang besar sebagai suatu energi alternatif. Ketersediaannya sangat melimpah dan dapat direkayasa menjadi suatu energi yang tidak menghasilkan polusi. Salah satu pemanfaatannya adalah elektrolisis air untuk menghasilkan *Brown's gas*, yang dapat digunakan sebagai bahan bakar ataupun sebagai bahan aditif untuk optimalisasi kinerja mesin motor bakar. Proses elektrolisis air membutuhkan suatu generator HHO, terdapat dua jenis yaitu tipe *dry cell* dan tipe *wet cell*. Perbedaan diantara keduanya adalah luas permukaan yang kontak langsung dengan larutan elektrolit. Dalam penelitian ini akan merencanakan generator HHO tipe *dry cell* dengan melakukan penambahan jumlah pelat netral sebanyak 2, 4, 6, dan 8 buah, serta merubah susunan posisi lubang dengan variasi vertikal, horizontal, dan berselang seling.

Tujuan dari penelitian adalah untuk mengamati perubahan yang terjadi pada beberapa parameter yang mempengaruhi efisiensi dan produktivitas *Brown's gas* pada generator HHO melalui perubahan susunan posisi lubang dan jumlah pelat netral. Arus listrik yang digunakan dijaga konstan sebesar 10 Ampere dan menggunakan elektroda *Stainless Steel 304 L*. Menggunakan katalis NaOH murni dengan konsentrasi 1,77% dari 2,5 liter air. Pada proses elektrolisis air ini dilakukan pengambilan data berupa perubahan tegangan, temperature, dan laju produktivitas *Brown's gas* setiap 10 detik.

Hasil penelitian menunjukkan penambahan jumlah pelat netral akan menambah besarnya nilai produktivitas *Brown's gas* namun memiliki efisiensi yang rendah karena membutuhkan tegangan yang besar. Produktivitas terbesar didapatkan pada penggunaan 8 pelat netral dengan susunan posisi lubang horizontal yaitu sebesar 0,0251 liter/detik. Namun nilai efisiensi terbesar terdapat pada penggunaan 2 pelat netral dengan susunan posisi lubang vertikal, yaitu sebesar 82,63%. Pada susunan posisi lubang vertikal terjadi sirkulasi gas dan elektrolit yang lebih baik dibandingkan susunan posisi horizontal dan berselang-seling, sehingga mempengaruhi temperatur generator HHO yang berdampak pada efisiensi dan produktivitas *Brown's gas*.

Kata kunci : Elektrolisis, Air, *Brown's gas*, *Dry Cell*, Pelat Netral, Produktivitas, Efisiensi

SUMMARY

Muhamad Farhan Diesa, *Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering University of Brawijaya, June 2018, The Influence of Hole Position Arrangement and Neutral Plate Variation on Brown's Gas Productivity in Dry Cell Type, Supervisor: Denny Widhiyanuriyawan and Redi Bintarto*

Water has great potential as an alternative energy. Its availability is abundant and can be engineered into a non-polluting energy. One of the uses is water electrolysis to produce Brown's gas, which can be used as fuel or as an additive for optimizing engine performance. The process of water electrolysis requires an HHO generator, which consists of two types, dry cell type and wet cell type. The difference is the surface area is in direct contact with the electrolyte. In this research, we will engineered dry cell HHO generator by adding 2, 4, 6, and 8 neutral plates, and change the holes position with vertical, horizontal, and intermittent arrangement variations.

The objective of the research was to observe changes occurring in some parameters that affect the efficiency and productivity of Brown's gas in HHO generators through changes in holes position arrangement and number of neutral plates. The electric current used is kept constant at 10 Ampere and uses 304 L Stainless Steel electrodes. Using a pure NaOH catalyst with 1.77% concentration on 2.5 liters of water. In this water electrolysis process, carried out the data of voltage, temperature, and Brown's gas productivity every 10 seconds.

The results show that adding the number of neutral plates will increase the value of Brown's gas productivity but has a low efficiency because it requires a large voltage. The greatest productivity was found on the use of 8 neutral plates with horizontal holes arrangement, which is 0.0251 liter / second. However, the greatest efficiency value is in the use of 2 neutral plates with vertical hole position arrangement, which is 82.63%. In the vertical holes position arrangement there is better circulation of gas and electrolyte than the arrangement of horizontal and intermittent positions, thus affecting the temperature of the HHO generator which affects the efficiency and productivity of Brown's gas.

Keywords: *Electrolysis, Water, Brown's gas, Dry Cell, Neutral Plates, Productivity, Efficiency*

KATA PENGANTAR

Puji serta syukur penulis panjatkan kepada kehadiran Allah *subhanahu wata'ala* atas segala rahmat dan kasih sayang-Nya, sehingga laporan skripsi dengan judul “Pengaruh Variasi Susunan Posisi Lubang dan Jumlah Pelat Netral Terhadap Produktivitas *Brown's Gas* Tipe *Dry Cell*” dapat terselesaikan dengan baik.

Penulisan dan penyelesaian skripsi ini telah dibantu oleh banyak pihak. Oleh sebab itu, penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan turut andil dalam penyelesaian skripsi ini :

1. Ir. Djarot B. Darmadi, MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng. Ph.D., selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT., selaku Ketua Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Dr.Eng. Widya Wijayanti, ST., MT., selaku Ketua Kelompok Jabatan Fungsional Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
5. Dr.Eng. Denny Widhiyanuriyawan, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing I skripsi dan Kepala Laboratorium Tenaga Surya dan Energi Alternatif yang telah memberikan pengarahan, bimbingan dan motivasi selama penyusunan laporan skripsi.
6. Redi Bintarto, ST., M.Eng. Pract., selaku dosen pembimbing II skripsi yang telah memberikan pengarahan, bimbingan, koreksi dan motivasi selama penyusunan laporan skripsi.
7. Rudianto Raharjo, ST., MT., selaku dosen Pembimbing Akademik yang telah memberi masukan dan arahan selama proses perkuliahan.
8. Kedua orangtua saya Eko Sukmono Adi dan Alm. Nurchayati Naim yang selalu memberikan kasih sayang, nasehat, motivasi, doa, dan segala dukungan moral maupun materi demi menunjang segala kebutuhan.
9. Kakak saya Arin Fadhila yang selalu memberi arahan, motivasi, dan doa untuk menyelesaikan skripsi
10. Segenap Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan yang sangat mendukung selama penyusunan skripsi ini.
11. Segenap Staf Administrasi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah banyak membantu dalam pengurusan administrasi.

12. Rekan-rekan kelompok skripsi, Yunus, Dwiki, Falih, dan Imam yang berjuang bersama dan banyak membantu menyelesaikan serangkaian proses skripsi.
13. Teman-teman asisten Laboratorium Tenaga Surya dan Energi Alternatif Husni, Fakhri, Pram, Arief, Janitra, Fakhrizal, dan Tari yang sudah memberikan dukungan dan membantu dalam pengambilan data skripsi.
14. Teman-teman mesin angkatan 2014 yang selalu memberikan informasi, dorongan, semangat, motivasi, dan dukungan.
15. Seluruh pihak terkait yang telah membantu dan tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis menerima segala kritik yang bersifat membangun di kemudian hari. Akhirnya penulis berharap semoga penulisan skripsi bermanfaat bagi semua pihak.

Malang, Juni 2018

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	viii
RINGKASAN	ix
SUMMARY	x
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Elektrolisis Air.....	7
2.3 <i>Electrolyzer</i> (Generator HHO).....	8
2.3.1 <i>Dry Cell</i>	9
2.3.2 <i>Wet Cell</i>	9
2.4 <i>Brown's Gas</i>	9
2.4.1 Hidrogen.....	10
2.4.2 Oksigen.....	11
2.5 Pelat Netral.....	11
2.6 Katalisator.....	11
2.6.1 Natrium Hidroksida (NaOH).....	12
2.7 Fraksi Massa Katalis.....	13
2.8 Elektroda.....	13
2.9 Reaksi Pada Katoda (Reduksi).....	16
2.10 Reaksi Pada Anoda (Oksidasi).....	17
2.11 Konduktivitas Listrik.....	17

2.12 Parameter Performansi <i>Electrolyzer Dry Cell</i>	20
2.13 Hipotesa.....	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Metode Penelitian.....	25
3.2 Tempat dan Waktu Pelaksanaan Penelitian.....	25
3.3 Variabel Penelitian.....	25
3.4 Alat dan Bahan Penelitian.....	26
3.4.1 Alat Penelitian.....	26
3.4.2 Bahan Penelitian.....	35
3.5 Instalasi Penelitian.....	36
3.6 Prosedur Penelitian.....	37
3.7 Prosedur Pembuatan Model.....	37
3.8 Prosedur Pelaksanaan Penelitian.....	38
3.9 Diagram Alir Penelitian.....	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisa Data.....	41
4.1.1 Contoh Perhitungan Data.....	41
4.2 Grafik dan Pembahasan.....	42
4.2.1 Grafik Hubungan Antara Jumlah Pelat Netral Terhadap Temperatur <i>Output</i>	42
4.2.2 Grafik Hubungan Antara Jumlah Pelat Netral Terhadap Daya Generator HHO.....	44
4.2.3 Grafik Hubungan Antara Jumlah Pelat Netral Terhadap Produktivitas Gas Brown.....	45
4.2.4 Grafik Hubungan Antara Jumlah Pelat Netral Terhadap Efisiensi Generator HHO.....	47
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	<i>Properties of Hydrogen</i>	10
Tabel 2.2	Sifat Fisika NaOH.....	14
Tabel 2.3	Nilai Resivitas Material.....	14



DAFTAR GAMBAR

No. Gambar	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Proses elektrolisis air	8
Gambar 2.2	Struktur Atom Oksigen.....	11
Gambar 2.3	Diagram perbandingan energi reaksi tanpa dan dengan katalis.....	12
Gambar 2.4	Sifat fisika NaOH.....	12
Gambar 2.5	Komposisi material stainless steel.....	16
Gambar 2.6	Spektrum konduktivitas listrik dan resistivitas.....	18
Gambar 2.7	Nilai resistivitas material.....	19
Gambar 3.1	a. Penyusunan bagian-bagian <i>electrolyzer</i>	26
	b. Kontruksi <i>electrolyzer</i>	26
Gambar 3.2	<i>Electrolyzer</i> dengan 2 pelat netral.....	27
Gambar 3.3	<i>Electrolyzer</i> dengan 4 pelat netral.....	27
Gambar 3.4	<i>Electrolyzer</i> dengan 6 pelat netral.....	27
Gambar 3.5	<i>Electrolyzer</i> dengan 8 pelat netral.....	28
Gambar 3.6	a. Bentuk real <i>O-Ring seal</i>	28
	b. Dimensi gambar <i>O-Ring seal</i>	28
Gambar 3.7	Dimensi gambar pelat netral dan pelat sisi.....	29
Gambar 3.8	Dimensi gambar pelat elektroda.....	29
Gambar 3.9	Dimensi akrilik bening.....	30
Gambar 3.10	Skema pengukuran volume dengan tabung ukur volume.....	31
Gambar 3.11	<i>Arduino Nano</i> dan Sensor Suhu.....	32
Gambar 3.12	Instalasi alat penelitian.....	34
Gambar 4.1	Hubungan antara Jumlah Pelat terhadap Temperatur <i>Output</i>	42
Gambar 4.2	<i>Sample</i> Susunan Pelat Vertikal Setelah Reaksi.....	43
Gambar 4.3	Hubungan antara Jumlah Pelat terhadap Daya Generator HHO.....	44
Gambar 4.4	Hubungan antara Jumlah Pelat terhadap Produktivitas Gas.....	45
Gambar 4.5	Hubungan antara Jumlah Pelat terhadap Efisiensi Generator HHO... ..	47



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut laporan dari Departemen Populasi Divisi Urusan Sosial dan Ekonomi PBB pada tahun 2017, jumlah penduduk dunia saat ini mencapai angka 7,6 Miliar jiwa, dan diperkirakan jumlah ini akan terus bertambah setiap tahunnya. Sedangkan menurut data Menteri Dalam Negeri RI, per tanggal 30 Juni 2016, jumlah penduduk di Indonesia mencapai 257.912.349 jiwa. Berdasarkan data tersebut, terdapat banyak dampak yang akan terjadi kepada keberlangsungan hidup manusia itu sendiri. Salah satu dampak yang tidak dapat dihindari adalah meningkatnya kebutuhan energi yang digunakan sebagai penunjang kehidupan manusia. Hingga saat ini, energi yang masih mendominasi sebagai penunjang kebutuhan manusia adalah bahan bakar fosil, yang mencapai 94 persen dari total konsumsi energi nasional. Hal tersebut menunjukkan ketergantungan manusia terhadap energi tak terbarukan, yang juga berdampak kepada meningkatnya pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu tindakan penanggulangan yang mengarah kepada suatu optimalisasi energi alternatif, yang ketersediaannya terjaga dan ramah lingkungan.

Terdapat berbagai pilihan potensi alam yang mampu dikonversi sebagai energi alternatif, sebagai contoh seperti energi matahari, energi potensial air, energi angin, energi nuklir, dan lain sebagainya. Namun hingga saat ini, berbagai penelitian yang sudah dilakukan dinilai masih belum bisa menggantikan besarnya ketergantungan manusia terhadap energi fosil. Selain itu dibutuhkan suatu relevansi kondisi dalam pemilihan energi alternatif tersebut untuk dapat menjaga ketersediaan dan kemudahan pengembangan potensinya. Jika ditinjau dari ketersediaannya, pemanfaatan air termasuk energi alternatif yang sangat melimpah, karena sekitar 71% permukaannya diselimuti oleh air yang mencapai 1,4 Miliar km^3 (330 juta mil^3). Oleh karena itu dibutuhkan suatu tindakan untuk mengoptimalkan potensi sumber daya alam ini.

Elektrolisis air dapat dijadikan pilihan sebagai salah satu pemanfaatan air yang dapat menghasilkan suatu energi yang ramah lingkungan. Menurut Sebastian (2013), elektrolisis air merupakan proses pemecahan molekul air (H_2O) menjadi oksigen (O_2) dan hidrogen (H_2) dengan memanfaatkan arus listrik sebagai pemicu terjadinya reaksi. Hasil reaksi elektrolisis air umumnya disebut sebagai *Brown's Gas*.

Menurut beberapa penelitian sebelumnya, *Brown's gas* dapat digunakan sebagai bahan aditif dalam proses pembakaran yang terjadi pada motor bakar. Utomo dan Wijaya (2015) membuktikan penambahan *Brown's gas* mampu meningkatkan efisiensi thermis, daya efektif, dan menurunkan konsumsi bahan bakar spesifik. Selain itu Goldwitz (2005) mampu meningkatkan efisiensi mesin sebesar 12% dengan melakukan penambahan *Brown's gas* pada motor bakar bahan bakar bensin, dan mampu mereduksi hingga 98% emisi NOx.

Elektrolisis air membutuhkan suatu *electrolyser* (Generator HHO) yang terbagi menjadi dua tipe, yaitu tipe *dry cell* dan tipe *wet cell*. Perbedaan yang mendasar dari dua jenis generator ini adalah luas permukaan elektroda yang kontak langsung dengan elektrolit. Namun, HHO generator tipe *dry cell* memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan tipe *wet cell* seperti waktu reaksi lebih cepat, lebih aman, dan air bersirkulasi sehingga temperatur cenderung rendah. Terdapat beberapa parameter dalam proses elektrolisis tipe *dry cell*, seperti besar daya listrik yang digunakan, temperatur di dalam sistem, konsentrasi larutan (katalis) yang digunakan, jumlah pelat netral yang digunakan, jenis material, dan sebagainya. Parameter tersebut dapat mempengaruhi laju produktivitas *Brown's gas* dan besarnya nilai efisiensi dari generator HHO tersebut.

Semakin besar daya listrik yang digunakan, maka proses pemecahan molekul-molekul air menjadi gas semakin cepat, dimana daya ini dipengaruhi oleh besarnya arus dan tegangan. Menurut Putra (2010) meningkatnya tegangan yang diberikan berbanding lurus dengan proses pemecahan molekul air yang lebih cepat, ditunjukkan dengan banyaknya gelembung-gelembung yang muncul dari permukaan katoda. Himawan (2009) juga melakukan penelitian dengan menggunakan variasi arus listrik DC pada generator HHO sebesar 1, 2, 3, 4 dan 5A. Dan disimpulkan bahwa semakin besar arus listrik DC yang digunakan untuk proses elektrolisis akan menghasilkan jumlah gas HHO paling banyak sehingga efisiensi dari motor bensin meningkat. Namun bertambahnya daya akan menaikkan temperatur sehingga menyebabkan hambatan pada rangkaian meningkat (Julianto, 2013).

Selain itu Prayitno (2016) menyebutkan bahwa tingginya temperatur pada generator HHO memiliki dampak terhadap produktivitas *Brown's gas*. Karena temperatur yang terjadi selama proses elektrolisis akan berpengaruh kepada besar hambatan yang juga mempengaruhi nilai produktivitas dan daya yang digunakan untuk proses elektrolisis.

Dengan meninjau penelitian-penelitian sebelumnya, maka diperlukan rekayasa lebih lanjut terkait *electrolyser* (generator HHO) untuk mencapai performansi, karakteristik, dan efisiensi terbaik, sehingga dapat terwujud suatu energi alternatif yang lebih efisien.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan analisis latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan suatu permasalahan yaitu bagaimana rekayasa variasi posisi susunan lubang dan jumlah pelat netral terhadap besarnya temperatur sistem dan nilai daya serta pengaruh terhadap efisiensi dan produktivitas *Brown's gas*.

1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan tidak meluas, maka pada penelitian ini digunakan beberapa batasan masalah sebagai berikut :

- a. Temperatur awal reaksi dijaga pada *range* 28-30°C
- b. Material pelat dianggap tidak korosif dan tidak terdapat cacat.
- c. Arus yang digunakan konstan 10A
- d. Kandungan mineral pada air dianggap tidak berpengaruh
- e. Bentuk gasket *O-Ring* dianggap lingkaran sempurna

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan terhadap parameter yang mempengaruhi produktivitas *Brown's gas* melalui variasi posisi susunan lubang dan penambahan jumlah pelat netral yang digunakan,

1.5 Manfaat Penelitian

Secara khusus penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat yang mampu diterapkan sebagai berikut :

1. Sebagai referensi pengetahuan dan wawasan untuk pengembangan proses elektrolisis.
2. Sebagai pengingat pentingnya energi alternatif sebagai penanganan terhadap krisis energi yang akan dihadapi.
3. Sebagai pemicu langkah penyempurnaan rekayasa generator HHO.
4. Hasil penelitian memberikan wawasan kepada mahasiswa dan masyarakat terkait perkembangan *brown's gas*.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian mengenai rekayasa *electrolyser* (generator HHO) sudah banyak dilakukan sebelumnya. Brown (1974) melakukan penelitian pertama pemecahan molekul air murni dengan memberikan arus listrik pada elektroda untuk menghasilkan gas HHO yang dinamakan *Brown's Gas* dan dipatenkan olehnya.

Utomo dan Wijaya (2015) membuktikan bahwa bensin dengan penambahan *Brown's gas* dengan variasi panjang elektroda 60 mm pada putaran mesin 6000 rpm dengan volume bensin 10 ml menghasilkan daya efektif sebesar 4,9 Hp habis dalam waktu 66 s, konsumsi bahan bakar spesifik 0,078 kg/hp dan efisiensi termis sebesar 71,8%. Pada volume dan putaran sama menggunakan panjang elektroda 80 mm menghasilkan SFC = 0,079 kg/hp, daya efektif 5,0 Hp dan efisiensi termis 70,3%. Penelitian tersebut menunjukkan penambahan *Brown's gas* lebih efisien dari pada penggunaan bensin murni dengan kondisi sama yang menghasilkan daya efektif sebesar 4,7 Hp, SFC sebesar 0,116 kg/hp dan efisiensi termis sebesar 48,1%.

Laksono & Widhiyanuriyawan (2013) meneliti tentang pengaruh variasi fraksi katalis NaHCO_3 (Natrium Bikarbonat) terhadap produksi *Brown's gas* pada *elektrolizer*. Variasi fraksi massa katalis NaHCO_3 digunakan 0%, 0,99%, 1,15%, 1,31%, 1,47%, 1,64% yang dilarutkan pada aquades sebanyak 6 liter. Kesimpulan yang didapat adalah produksi *Brown's gas* pada elektroliser dapat dilakukan tanpa menggunakan katalis, namun konsekuensi yang didapatkan yaitu daya yang dibutuhkan untuk melakukan proses elektrolisis sangat besar dengan jumlah produksi *brown's gas* yang tidak banyak. Sedangkan efisiensi elektroliser tertinggi dicapai pada elektrolisis dengan arus 6A dengan fraksi massa katalis sebesar 1,31% mencapai nilai efisiensi 40.0578%.

Penelitian yang dilakukan Marlina (2013) melihat karakteristik produktifitas *Brown's gas* dengan katalis NaHCO_3 . Katalis yang ditambahkan mulai dari 2,5% 15%, hasilnya menunjukkan semakin bertambah kadar katalis maka semakin bertambah pula daya yang dibutuhkan untuk proses elektrolisis. Produktivitas paling tinggi pada katalis 12,5% dan efisiensi tertinggi pada kadar 10% katalis NaHCO_3 .

Sari (2016) meneliti pengaruh ketebalan pelat elektroda dan fraksi massa katalis terhadap produktivitas *Brown's gas* pada *electrolyzer dry cell*. Pada penelitian itu

digunakan variasi fraksi massa katalis 0,69%, 1,38%, 1,77%, dan 2,15% pada ketebalan pelat elektroda 0,3, 1, 1,2, dan 1,5 mm. Menyimpulkan bahwa produktivitas tertinggi dihasilkan pada ketebalan pelat elektroda 0,3 mm dengan fraksi massa katalis 2,15% dengan produktivitas brown's gas 0,01690 l/s dan paling rendah pada ketebalan elektroda 1,5 mm dengan fraksi massa katalis 0,69%. Sedangkan efisiensi terbesar dimiliki pelat dengan ketebalan 0,3 pada fraksi massa katalis 2,15% sebesar 25,95% dan fraksi massa katalis optimal pada 1,77% dengan laju produksi gas HHO 0,01471 l/s dan efisiensi 22,404%.

Besarnya arus listrik yang digunakan untuk proses elektrolisis diteliti oleh Putra (2010). Dalam penelitiannya, proses elektrolisis menggunakan larutan KOH sebagai katalis sedangkan arus listrik berasal dari *Power Supply* DC sebagai sumber tegangan dengan variasi besaran arus yang digunakan pada *Power Supply* DC diatur 4,4.5, 5, 5.5, dan 6A. Didapatkan dari hasil penelitian bahwa semakin besar arus listrik DC yang digunakan maka produktivitas gas semakin besar yaitu pada besaran arus listrik DC 6A.

Arifin dan kawan-kawan (2015) mengamati pengaruh penggunaan pelat elektroda netral SS 316, elektroda netral aluminium dan tanpa pelat elektroda netral terhadap performansi elektroliser *dry cell*. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa penambahan pelat elektroda netral aluminium dapat meningkatkan performa generator HHO dibandingkan tanpa elektroda netral, sedangkan penggunaan SS 316 dapat menurunkan nilai *losses energy*.

Prayitno (2016) meneliti tentang pengaruh penambahan pelat terhadap produksi *Brown's gas* pada generator HHO tipe *dry cell*. Pada penelitian ini menggunakan beberapa tipe *electrolyzer*, tipe A (tanpa pelat sisi), tipe B (1 pelat sisi), dan tipe C (2 pelat sisi) dengan variasi pelat netral 2, 4, 6, dan 8. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa produktivitas gas cenderung konstan setiap pertambahan waktu, dan konfigurasi pelat netral 4 pada tipe C merupakan konfigurasi dengan produktivitas terbesar mencapai 0,015 l/s dan pengurangan jumlah pelat netral akan menghasilkan efisiensi yang semakin besar dimana efisiensi terbesar yaitu 26,31% pada 2 pelat netral tipe C.

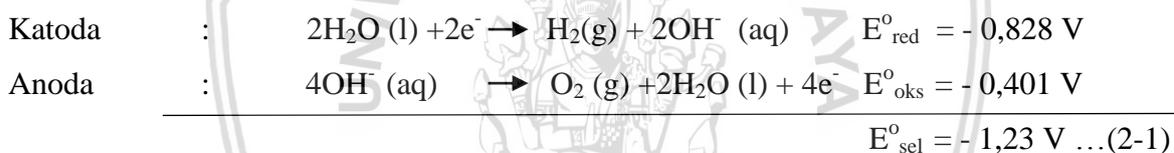
Afif (2017) meneliti tentang pengaruh perbedaan jenis material dan perbedaan tebal celah elektroda terhadap produktivitas *Brown's gas*. Hasil penelitian ini mendapatkan efisiensi terbaik dan produktivitas tertinggi pada material *Stainless Steel 304 L* dan jarak celah 1,5 mm yaitu sebesar 62,5% dan produktivitas sebesar 0,02216 L/s.

2.2 Elektrolisis Air

Menurut Hendayana (2006), metode pemisahan kimia merupakan aspek penting dalam bidang kimia karena kebanyakan materi yang didapatkan berupa campuran. Untuk memperoleh materi murni suatu campuran, kita harus melakukan pemisahan. Berbagai teknik pemisahan dapat diterapkan untuk memisahkan suatu campuran.

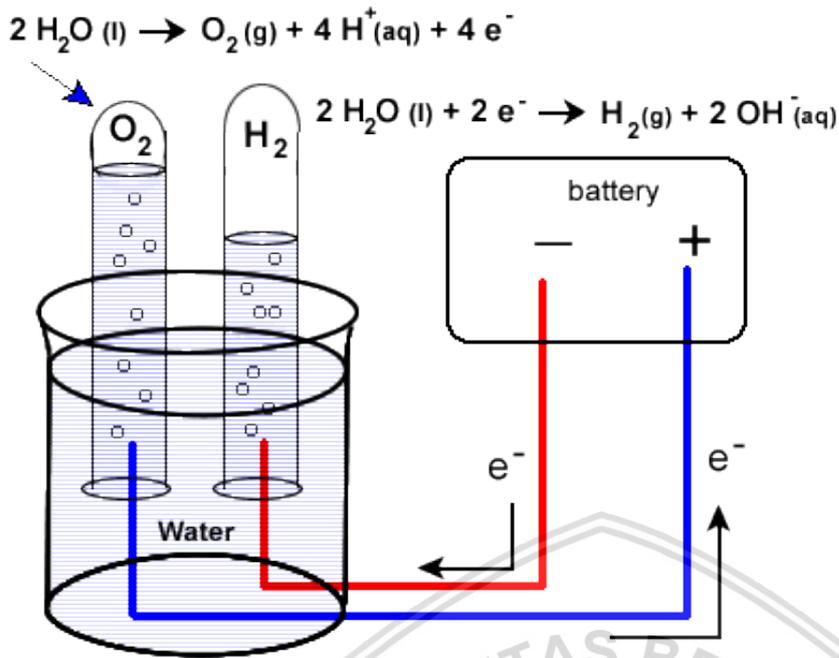
Elektrolisis air merupakan salah satu metode pemisahan dengan menggunakan bantuan energi listrik. Proses elektrolisis memisahkan molekul air menjadi gas hidrogen dan oksigen dengan mengalirkan arus listrik ke elektroda (anoda dan katoda) yang kontak langsung dengan larutan elektrolit, yaitu campuran air yang sudah ditambahkan katalis.

Pada anoda, dua molekul air lain terurai menjadi gas oksigen (O_2) melepaskan 4 ion H^+ serta mengalirkan elektron ke katoda. Sementara itu katoda, dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron tereduksi menjadi gas H_2 dan ion hidroksida (OH^-). Ion H^+ dan OH^- mengalami netralisasi sehingga terbentuk kembali beberapa molekul air. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat persamaan reaksi (2-1) oksidasi dan reduksi air pada proses elektrolisis air.



Reaksi elektrolisis merupakan reaksi reduksi-oksidasi yang berlangsung secara tidak spontan. Reaksi elektrolisis tidak dapat berlangsung jika tidak diberikan sumber energi berupa listrik yang mengalir dari luar dengan E°_{sel} bernilai negatif (Riyanto, 2013).

Pada saat proses elektrolisis berlangsung energi listrik yang diberikan akan di konversi menjadi energi kimia. Proses ini ditemukan oleh Faraday tahun 1820. Pada gambar 2.1 digambarkan reaksi pemecahan H_2O menjadi 2 molekul hidrogen dan 1 molekul oksigen yang sering disebut *HHO/Oxyhidrogen*, sehingga pada gambar terlihat perbedaan ketinggian karena reaksi yang terjadi.



Gambar 2.1 Proses elektrolisis air
Sumber: Takeuchi (2006: 204)

2.3 *Electrolyzer* (Generator HHO)

Electrolyzer adalah tempat berlangsungnya proses elektrolisis air yang terdapat elektroda (katode dan anode) sebagai tempat reaksi dan larutan elektrolit sebagai perantara dan sumber reaksi (Syarifuddin, 2017). Pada *electrolyzer* terjadi reaksi pemisahan hidrogen dan oksigen dari senyawa air (H_2O), proses yang terjadi pada katode adalah dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron yang mengalir masuk ke dalam katoda lalu tereduksi menjadi gas H_2 serta ion hidroksida (OH^-). Ion OH^- hasil reaksi air pada katoda bergerak menuju anoda. Di anoda tersebut elektron terlepas menuju permukaan anoda dan bergerak kembali menuju *power supply* akibat terlepasnya elektron tersebut. Dua buah ion OH^- terurai membentuk air dan gelembung oksigen. Gelembung yang muncul dari elektroda merupakan gas H_2 yang timbul dalam katoda dan gas O_2 yang timbul pada anoda hasil dari reaksi elektrolisis. *Electrolyzer* terbagi dalam beberapa jenis yaitu ; *dry cell* (tipe kering) dan *wet cell* (tipe basah).

2.3.1 *Dry Cell*

Sel elektrolisis tipe kering (*dry cell*) merupakan sel elektrolisis dimana tidak seluruh bagian pelat elektroda terendam, dan elektrolit hanya mengisi celah – celah antara elektroda. Luasan lingkaran pada plat elektroda yang kontak dengan air adalah area terjadinya elektrolisis untuk menghasilkan gas HHO. 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 (Syarifuddin, 2017).

Keuntungan reaktor HHO tipe *dry cell* adalah :

1. Reaksi lebih fokus, karena elektrolit yang bereaksi hanya elektrolit yang terjebak diantara pelat elektroda.
2. Arus listrik yang digunakan relatif lebih hemat, karena air yang direaksikan disesuaikan dengan kebutuhan dan daya yang terkonversi menjadi panas semakin sedikit.
3. Panas dari hasil reaksi cenderung kecil, dikarenakan air tersirkulasi terus-menerus antara air panas dan dingin.

2.3.2 *Wet Cell*

Sel elektrolisis tipe basah (*wet cell*) semua elektrodanya terendam elektrolit dalam bejana air. Pada tipe *wet cell* membutuhkan energi listrik yang lebih besar dikarenakan semua area luasan elektroda platnya terendam air untuk proses elektrolisis yang menghasilkan gas HHO.

Kelebihan generator *electrolyzer wet cell* adalah :

1. Produksi gas cenderung lebih banyak.
2. Perawatan generator lebih mudah.
3. Rancang bangun pembuatan generator HHO lebih mudah.

2.4 *Brown's Gas*

Brown's gas (HHO/*Oxyhydrogen*) merupakan sebuah hasil reaksi elektrolisis air yang terdiri dari molekul hidrogen (H_2) dan molekul oksigen (O_2). Kedua molekul ini bercampur dalam satu wadah namun tidak saling berikatan dan dapat dipisahkan dengan sebuah separator melalui proses lanjutan. *Brown's gas* pertama kali diteliti dan dikembangkan oleh seorang warga negara Australia yang bernama Yull Brown pada tahun 1947 dan

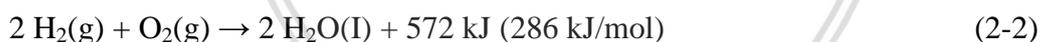
mematenkan hasil penelitiannya tentang elektrolisis yaitu campuran hidrogen dan oksigen dengan nama *Brown's Gas* (Hidayatullah, 2008).

Menurut Suyuty (2011), gas hidrogen dan oksigen yang dihasilkan dari reaksi elektrolisis ini membentuk gelembung pada elektroda dan dapat dikumpulkan. Prinsip ini kemudian dimanfaatkan untuk menghasilkan hidrogen yang dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan hidrogen. Secara khusus, gas HHO memiliki karakteristik ledakan pada saat dibakar dan menghasilkan afinitas yang baik terhadap lingkungan. Pada proses pembakaran, volume gas HHO mengempis karena volumenya lebih besar dari campuran gas H₂ dan O₂ sebelum dilakukan proses pembakaran (Yong et.al., 2005).

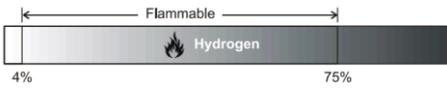
Berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya, beberapa parameter yang dapat mempengaruhi produktivitas *Brown's gas* pada generator HHO seperti besarnya daya yang digunakan, besarnya arus yang digunakan, material elektroda, jarak celah antar pelat, temperatur, konsentrasi katalis elektroda, jenis katalis yang digunakan, jumlah pelat netral pada generator, dan sebagainya.

2.4.1 Hidrogen

Salah satu produk dari elektrolisis yaitu gas hidrogen (H₂). Hidrogen termasuk gas yang sangat reaktif. Proses pembakaran hidrogen akan menghasilkan ledakan dengan suhu yang tinggi. Hidrogen merupakan unsur kimia dengan nomor atom 1 dan massa atom 1,00797. Unsur paling ringan di permukaan bumi yaitu hidrogen dengan jumlah presentase 75% dibanding unsur kimia yang lain (David, 1997). Hidrogen terbakar menurut persamaan kimia :



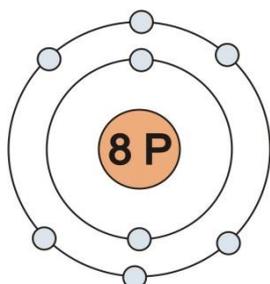
Tabel 2.1 *Properties of Hydrogen*

<i>Characteristic</i>	<i>Value</i>
<i>Vapor Density (at 68 F; 20 °C, 1 atm)</i>	0.005229 lb/ft ³ (0.08376 kg/m ³)
<i>Liquid Density (at normal boiling point, 1 atm)</i>	4.432 lb/ft ³ (70.8 kgm ³)
<i>Higher Heating Value (at 25 °C and 1 atm)</i>	61,000 Btu/lb (141.86 kJ/g)
<i>Lower Heating Value (at 25 °C and 1 atm)</i>	51,500 Btu/lb (119.93 kJ/g)
<i>Energy Density (LHV) (gas at 1 atm & 15 °C)</i>	270 Btu/ft ³ (10,050 kJ/m ³);
<i>Flashpoint</i>	< -423 °F (< -253 °C; 20 K)
<i>Flammability Range</i>	
<i>Autoignition Temperature</i>	1085 °F (585 °C)
<i>Octane Number</i>	130+ (<i>learn burn</i>)

Sumber : College of the Desert (2001: 1-7)

2.4.2 Oksigen

Oksigen adalah unsur kimia dalam tabel periodik yang mempunyai lambang O dengan nomer atom 8. Oksigen sangat mudah bereaksi dengan unsur lain menjadi oksida. Oksigen memiliki sifat fisik beratom dua dan berikatan menjadi gas oksigen dengan sifat tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau (Dianty, 2009). Oksigen merupakan unsur melimpah di urutan ketiga (Emsley, 2001).



Gambar 2.2 Struktur Atom Oksigen
Sumber: Brady (1999)

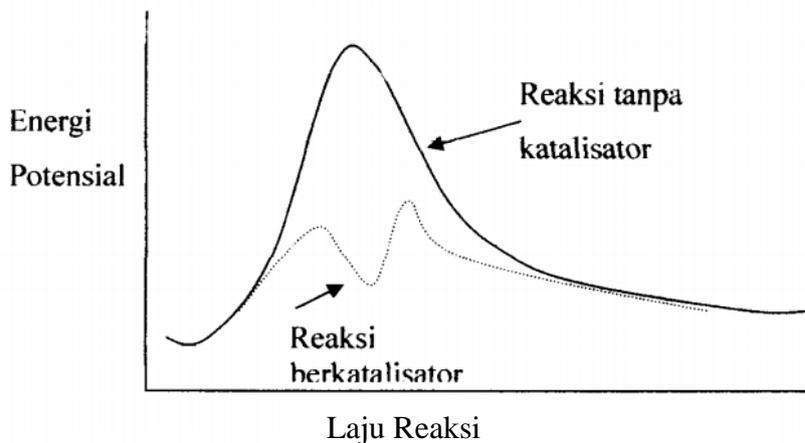
2.5 Pelat Netral

Pelat netral merupakan pelat dengan material tertentu yang tidak diberi arus listrik dan diletakkan di dalam generator HHO di antara pelat anoda dan katoda dengan dipisahkan oleh gasket pada setiap pelatnya. Pada umumnya pelat netral diaplikasikan pada generator HHO tipe *dry cell*. Menurut Prayitno (2016) penambahan pelat netral dapat menambah luasan reaksi elektrolisis di dalam generator HHO dan dapat mengurangi temperatur sistem sehingga dapat meningkatkan laju produksi *Brown's gas*. Namun semakin banyaknya jumlah pelat netral dapat menambah besar hambatan pada generator HHO, yang mengakibatkan semakin besarnya energi yang dibutuhkan untuk dapat terjadinya reaksi elektrolisis.

2.6 Katalisator

Menurut Widjajanti (2005) katalis merupakan sebuah zat yang mengubah laju suatu reaksi kimia tanpa menjadi produk akhir reaksi. Sedangkan katalisator adalah zat yang dapat mempercepat reaksi tetapi zat tersebut tidak ikut bereaksi sehingga tidak ada perubahan pada akhir reaksi. Katalisator tidak memberikan energi ke dalam sistem, namun katalis memberikan mekanisme reaksi alternatif dengan energi aktivasi yang lebih rendah dibandingkan dengan reaksi tanpa katalis, sehingga akan meningkatkan laju reaksi.

Ada beberapa contoh katalisator yang sering digunakan untuk mempercepat reaksi kimia seperti ; NaOH, KOH, NaHCO₃, NaCl dll. Gambar 2.3 memperlihatkan diagram perbandingan energi dari reaksi tanpa dan dengan katalis.



Gambar 2.3 Diagram perbandingan energi dari reaksi tanpa dan dengan katalis
 Sumber: Pengaruh katalisator terhadap laju reaksi, Endang Widjajanti (2005)

2.6.1 Natrium Hidroksida (NaOH)

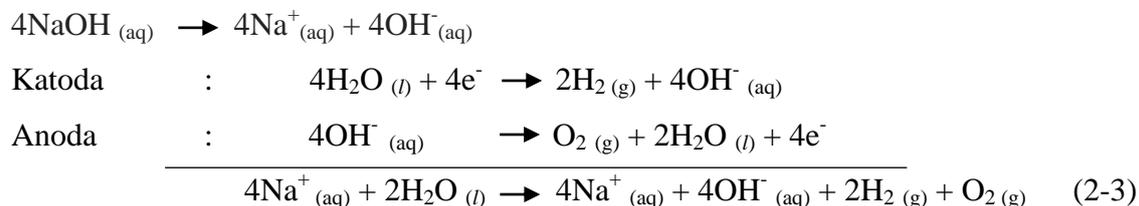
Natrium Hidroksida anhidrat berupa kristal putih. NaOH termasuk basa kuat yang bersifat korosif. Natrium Hidroksida juga sering disebut soda kaustik. Soda kaustik apabila dilarutkan dalam air akan menimbulkan reaksi eksotermis. Gambar 2.4 menjabarkan sifat fisik dari Natrium Hidroksida.

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

Gambar 2.4 Sifat fisika NaOH
 Sumber: Surest (2010)

NaOH merupakan senyawa basa kuat dan pada penggunaannya sering bereaksi dengan asam lemah. NaOH sering digunakan untuk menghasilkan garam natrium dan mengendapkan logam-logam berat seperti hidroksinya dan mengontrol nilai pH air. NaOH sukar terbakar meskipun reaksi dengan metal amfoter seperti timah, seng dan aluminium menghasilkan gas nitrogen yang mudah meledak (Riama, 2015). Natrium hidroksida ketika dilarutkan dalam air akan membentuk larutan alkalin yang kuat. Dalam berbagai macam bidang industri Natrium Hidroksida sering digunakan, seperti dalam proses industri bubur kayu, kertas, tekstil, air minum, sabun, dan deterjen. Selain itu natrium hidroksida juga

merupakan basa yang paling umum digunakan dalam laboratorium kimia (Williams dan Schmitt, 2011). Persamaan (2-3) menunjukkan reaksi elektrolisis larutan NaOH pada logam inert :



2.7 Fraksi Massa Katalis

Fraksi massa katalis merupakan rasio perbandingan antara massa zat terlarut dengan massa zat total larutan (massa pelarut + massa terlarut). Pada penelitian ini digunakan katalis NaOH sebagai zat terlarut. Sedangkan zat pelarut yang digunakan adalah air. Fraksi massa katalis dapat dihitung pada persamaan (2-4) berikut ini (Sari dkk, 2016).

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

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

Jika massa zat terlarut sebesar 45gr dan massa zat pelarut sebesar 2500 gr maka dapat dihitung fraksi massa katalisnya sebagai berikut.

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

$$\begin{aligned}
 \% &= \frac{45\text{gr}}{(2545)\text{gr}} \times 100\% \\
 &= 1.77 \%
 \end{aligned}$$

2.8 Elektroda

Elektroda adalah salah satu bagian terpenting dari generator HHO. Elektroda merupakan material yang bersentuhan langsung dengan larutan elektrolit dalam suatu sirkuit. Elektroda terbuat dari bahan konduktor berfungsi untuk menghantarkan arus listrik dari sumber listrik ke larutan elektrolit. Elektroda melakukan reaksi redoks (Reduksi – Oksidasi) guna memecah H₂O menjadi gas HHO. Reaksi reduksi terjadi pada katoda dan reaksi oksidasi terjadi pada anoda.

1. Potensial Elektroda

Pada reaksi redoks yang terjadi karena adanya aliran elektron yang menyebabkan adanya arus listrik yang mengalir. Besarnya arus listrik bergantung

dengan besarnya potensial antara kedua elektroda (katoda-anoda). Potensial elektroda didefinisikan potensial listrik yang ada pada sebuah elektroda yang berhubungan dengan oksidasi dan reduksi beberapa zat. Elektroda memiliki sifat yang cenderung teroksidasi atau cenderung tereduksi. Oksidasi dapat diartikan pelepasan elektron oleh sebuah molekul, atom, atau ion sedangkan reduksi dapat didefinisikan penambahan elektron oleh sebuah molekul, atom, atau ion (Suyuty, 2011). Kekuatan dalam mereduksi zat lain disebut potensial reduksi. Potensial reduksi dari elektroda memiliki lambang E . Dalam suatu sel elektrokimia potensial selnya merupakan selisih dari potensial reduksi kedua elektroda. Potensial reduksi yang terbesar akan tereduksi dan berfungsi sebagai katoda sedangkan elektroda lainnya teroksidasi berfungsi sebagai anoda (Pettruci, 1999). Potensial reaksi dapat dihitung dengan persamaan (2-5) berikut.

$$E_{\text{sel}} = E_{\text{katoda}} - E_{\text{anoda}} \quad (2-5)$$

Dalam menentukan potensial elektroda dapat digunakan dengan menggunakan potensial elektroda standar dari suatu unsur. Potensial elektroda standar yang dilambangkan E^0 .

Tabel 2.2 Potensial Elektroda Standart

Reaksi	Reduksi	Logam	E^0 (volt)
K^+	$+ e^-$	K	-2,92
Ba^{2+}	$+ 2 e^-$	Ba	-2,90
Ca^{2+}	$+ 2 e^-$	Ca	-2,87
Na^+	$+ e^-$	Na	-2,71
Mg^{2+}	$+ 2 e^-$	Mg	-2,37
Al^{3+}	$+ 3 e^-$	Al	-1,66
Mn^{2+}	$+ 2 e^-$	Mn	-1,18
$2 H_2O$	$+ 2 e^-$	$H_2 + 2 OH^-$	-0,83
Zn^{2+}	$+ 2 e^-$	Zn	-0,76
Cr^{3+}	$+ 3 e^-$	Cr	-0,71
Fe^{2+}	$+ 2 e^-$	Fe	-0,44
Cd^{2+}	$+ 2 e^-$	Cd	-0,40
Co^{2+}	$+ 2 e^-$	Co	-0,28
Ni^{2+}	$+ 2 e^-$	Ni	-0,25
Sn^{2+}	$+ 2 e^-$	Sn	-0,14
Pb^{2+}	$+ 2 e^-$	Pb	-0,13
$2 H^+$	$+ 2 e^-$	H_2	0,00
Sn^{4+}	$+ 2 e^-$	Sn^{2+}	+0,13
Bi^{3+}	$+ 3 e^-$	Bi	+0,30
Cu^{2+}	$+ 2 e^-$	Cu	+0,34
Ag^+	$+ e^-$	Ag	+0,80
Pt^{2+}	$+ 2 e^-$	Pt	+1,20
Au^{3+}	$+ 3 e^-$	Au	+1,50

Sumber : Braddy (1990)

2. Material Elektroda

Pada elektrolisis air dibutuhkan material elektroda yang memiliki sifat dengan konduktivitas listrik tinggi dan tahan korosi guna mendapatkan produktivitas

yang tinggi (Sari, 2016). Nilai konduktivitas listrik dari suatu material berbanding terbalik dengan nilai tahanan listriknya. Kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik disebut konduktivitas listrik sedangkan tahanan listrik adalah sesuatu yang dapat menghambat jalannya arus listrik yang mengalir.

Korosi juga mempengaruhi produktivitas *Brown's gas* dikarenakan korosi membentuk lapisan dipermukaan elektroda, hal ini dapat menghambat arus listrik yang mengalir (Silaban, 2013). Korosi sendiri adalah kerusakan atau degradasi suatu logam akibat reaksi redoks dengan berbagai zat yang menghasilkan senyawa yang tidak dikehendaki.

Material elektroda yang digunakan untuk elektrolisis dibagi 2 yaitu elektroda inert (pasif) dan elektroda tidak inert (aktif). Elektroda inert adalah elektroda yang tidak ikut bereaksi baik sebagai katoda maupun sebagai anoda, sehingga dalam elektrolisis yang mengalami reaksi redoks adalah elektrolit sebagai zat terlarut atau air sebagai pelarut. Elektroda inert merupakan elektroda terbaik dalam proses elektrolisis contohnya adalah karbon (C), platina (Pt). Sedangkan elektroda tidak inert adalah elektroda yang mempengaruhi reaksi oksidasi pada anoda, biasanya anoda akan mengalami oksidasi yang diikuti oleh reaksi reduksi pada katode. Contoh dari elektroda tidak inert adalah Fe, Al, Cu, Zn, Ag, dan Au (Riyanto, 2013:17-18). Elektroda inert merupakan elektroda terbaik dalam proses elektrolisis air. Elektroda inert memiliki kelemahan dalam segi harga dan ketersediaan dipasaran.

Pada penelitian ini menggunakan elektroda dengan material *Stainless Steel* yang merupakan logam paduan iron (besi) yang memiliki minimal 12 % kromium (Cr). Unsur ini membentuk bagian lapisan protective layer (lapisan pelindung anti korosi) yang menghalangi proses oksidasi besi (Fe). Oksidasi oksigen pada krom akan membentuk lapisan protective layer secara spontan. (Purwanti dan Ferihan, 2013). Dengan pelapisan krom pada besi sehingga membentuk logam stainless steel akan mendapatkan banyak keuntungan antara lain sangat tahan terhadap korosi, kuat dan tidak mudah tergores dan permukaan mengkilat dan halus. Pelat stainless steel juga memiliki harga murah dan sangat mudah didapatkan dipasaran.

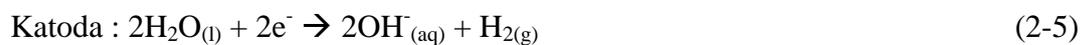
Chemical Composition of Austenitic Stainless Steels

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 x 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 x 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 3.0 Cu
20Cb3	0.07	0.75	1.00	20.0	29.0	8 x C Min. Cb-Ta
904L	0.02	—	—	21.0	25.5	4.7 Mo 1.5 Cu

Gambar 2.5 Komposisi material stainless steel
 Sumber: Metallic materials, Schweitzer (2006)

2.9 Reaksi Pada Katoda (Reduksi)

Jenis kation yang terdapat di dalam larutan yang akan dielektrolisis berpengaruh terhadap reaksi yang terjadi di katoda. Jika kation berasal dari logam-logam aktif (logam golongan IA, IIA, Al atau Mn), yaitu logam-logam yang potensial elektrodanya lebih kecil, maka air yang tereduksi. Pada katoda, terjadi reaksi reduksi saat proses elektrolisis berlangsung. Ion-ion bermuatan positif atau kation bergerak dari anoda ke katoda untuk reduksi. Pada elektrolisis air (H_2O), pada katoda dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron, tereduksi menjadi gas H_2 dan Hidroksida (OH^-). Reaksi pada katoda :



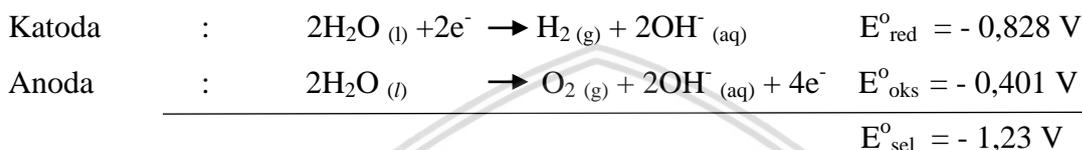
2.10 Reaksi Pada Anoda (Oksidasi)

Terjadi reaksi oksidasi pada anoda saat proses elektroforesis berlangsung. Ion-ion bermuatan negatif atau anion bereaksi dari katoda ke anoda untuk oksidasi. Pada proses elektrolisis air, pada anoda, dua molekul air lain terurai menjadi gas oksigen (O_2), melepaskan 4 ion H^+ .

Reaksi pada anoda



Jadi reaksi total dari proses elektrolisis air pada masing-masing elektroda sebagai berikut:



2.11 Konduktivitas Listrik

Konduktivitas listrik adalah tingkat arus listrik yang mampu dihantarkan suatu bahan. Konduktivitas listrik σ (S/cm) berhubungan dengan resistivitas ρ (Ω cm) sesuai dalam persamaan (2-7):

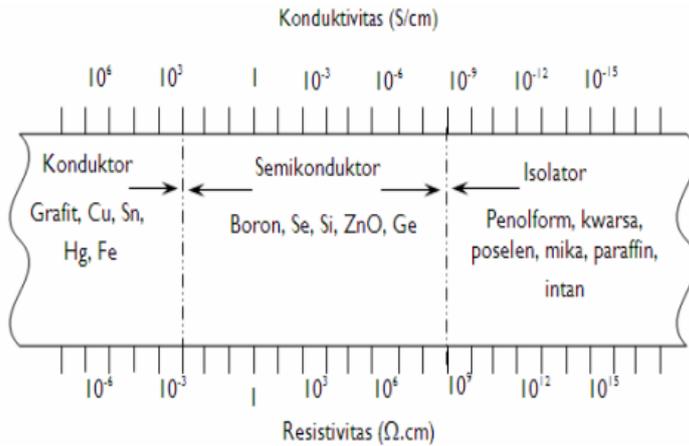
$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2-7)$$

Keterangan:

σ = konduktivitas listrik (S/cm)

ρ = resistivitas atau hambatan jenis material (Ω -cm)

Peningkatan konduktivitas listrik disebabkan oleh eksitasi dari penambahan pengisian bebas yang diangkut oleh cahaya energi tinggi pada semikonduktor dan isolator. Material alami maupun buatan yang terdapat di alam dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu konduktor, isolator dan semikonduktor. Nilai dari konduktivitas listrik ketiga material tersebut berbeda. Material semikonduktor mempunyai nilai konduktivitas antara selang dari (10^{-8} – 10^3) S/cm seperti pada gambar 2.8.



Gambar 2.6 Spektrum konduktivitas listrik dan resistivitas
Sumber: Jurnal Berkala Fisika (vol. 13, 2010)

Resistansi suatu material berhubungan dengan panjang, luas penampang lintang, temperatur dan tipe material. Pada material ohmik resistansinya tidak bergantung pada arus dan hubungan empiris ini disebut dengan hukum Ohm yang dinyatakan sesuai dalam persamaan 2-8 :

$$V = I \cdot R ; R = \text{konstan} \quad (2-8)$$

Untuk material nonohmik, arus tidak setara dengan tegangan. Resistansinya bergantung pada kuat arus, didefinisikan sesuai dalam persamaan 2-9 :

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

Kurva hubungan tegangan dan kuat arus pada bahan Ohmik adalah linear sedangkan bahan nonohmik hubungannya tidak linear. Resistansi suatu kawat penghantar setara dengan panjang kawat dan berbanding terbalik dengan luas penampang lintang sesuai persamaan 2-10 :

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

Keterangan:

R = nilai hambatan suatu material (Ω)

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

L = panjang suatu kawat/material (m)

A = luas penampang material tertentu (m^2)

Dimana ρ merupakan resistivitas bahan penghantar. Satuan resistivitas adalah ohm meter ($\Omega\cdot\text{m}$) dan nilai setiap material berbeda-beda. Kebalikan dari resistivitas disebut konduktivitas σ . Adapun tingkat konduktivitas suatu bahan bergantung dari sifat bahan tersebut.

PROPERTIES OF SELECTED ENGINEERING MATERIALS
PART 1 — METALS (Taken from numerous sources)

Material	Specific gravity	Thermal conductivity, $\frac{\text{cal}\cdot\text{cm}}{\text{°C}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{sec}}^*$	Thermal expansion, $\frac{\text{in}}{\text{in}/\text{°F}}$ at 68°F †	Electrical resistivity, $\text{ohm}\cdot\text{cm}$ at 68°F ‡	Average modulus of elasticity, psi
Aluminum (99.9+)	2.7	0.53	12.5×10^{-6}	2.9×10^{-6}	10×10^6
Aluminum alloys	2.7(+)	0.4(±)	12×10^{-6}	$3.5 \times 10^{-6}(+)$	10×10^6
Brass (70Cu-30Zn)	8.5	0.3	11×10^{-6}	6.2×10^{-6}	16×10^6
Bronze (95Cu-5Sn)	8.8	0.2	10×10^{-6}	9.6×10^{-6}	16×10^6
Cast iron (gray)	7.15	—	5.8×10^{-6}	—	30×10^6
Cast iron (white)	7.7	—	5×10^{-6}	—	30×10^6
Copper (99.9+)	8.9	0.95	9×10^{-6}	1.7×10^{-6}	16×10^6
Lead (99+)	11.34	0.08	16×10^{-6}	20.65×10^{-6}	2×10^6
Magnesium (99+)	1.74	0.38	14×10^{-6}	4.5×10^{-6}	6.5×10^6
Monel (70Ni-30Cu)	8.8	0.06	8×10^{-6}	48.2×10^{-6}	26×10^6
Silver (sterling)	10.4	1.0	10×10^{-6}	1.8×10^{-6}	11×10^6
Steel (1020)	7.86	0.12	6.5×10^{-6}	16.9×10^{-6}	30×10^6
Steel (1040)	7.85	0.115	6.3×10^{-6}	17.1×10^{-6}	30×10^6
Steel (1080)	7.84	0.11	6.0×10^{-6}	18.0×10^{-6}	30×10^6
Steel (18Cr-8Ni stainless)	7.93	0.035	5×10^{-6}	70×10^{-6}	30×10^6

Gambar 2.7 Nilai resistivitas material

Sumber: Elements of material science, Van Vlack (1960)

Berikut merupakan hubungan konduktivitas listrik dan resistansi sesuai dalam persamaan 2-11 dan 2-12 :

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

$$\sigma = \frac{L}{RA} \quad (2-12)$$

Keterangan:

R = nilai hambatan suatu material (Ω)

σ = konduktivitas listrik material (S/cm)

L = panjang suatu kawat/material (m)

A = luas penampang material tertentu (m^2)

Persamaan hubungan kenaikan temperature terhadap hambatan suatu material dengan koefisien suhu setiap material dapat dilihat pada persamaan (2-13):

$$\Delta R = R_o (1 + \alpha \cdot \Delta T) \quad (2-13)$$

Keterangan:

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

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

α = koefisien suhu per $^\circ\text{C}$ pada 0°C ($1/^\circ\text{C}$)

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

2.12 Parameter Performansi *Electrolyzer Dry cell*

1. Daya Generator HHO

Elektrolisis air merupakan proses kimia yang mengubah energi listrik menjadi energi kimia. Proses elektrolisis air memerlukan sumber energi listrik searah yang bersumber dari listrik PLN (dengan dirubah dari arus bolak balik menjadi searah dengan inverter), Energi Surya (*Solarcell*) atau baterai (*accumulator*) untuk dialirkan ke pelat elektroda pada generator HHO. Pada penelitian ini digunakan energi listrik dari PLN dengan dirubah dari arus bolak balik menjadi searah dengan menggunakan inverter.

Untuk mendapatkan nilai efisiensi yang tinggi dari generator HHO penggunaan daya listrik haruslah seminimal mungkin dengan laju produksi *Brown's gas* yang tinggi. Daya listrik yang digunakan selama proses elektrolisis berlangsung dapat ditunjukkan pada Persamaan (2-9) berikut (Bueche, 1985).

$$P = V \cdot I \quad (2-9)$$

Keterangan :

P = Daya yang dibutuhkan generator HHO (watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Kuat arus listrik (Ampere)

Pada persamaan (2-9) dapat disimpulkan bahwa semakin besar tegangan atau semakin besar kuat arus listrik yang digunakan pada proses elektrolisis air maka akan memperbesar daya yang dibutuhkan generator HHO dikarenakan tegangan atau kuat arus berbanding lurus dengan daya yang dibutuhkan.

2. Laju produksi *Brown's gas*

Proses elektrolisis air menggunakan generator HHO tipe kering akan menghasilkan *Brown's gas* atau gas HHO. Sehingga diperlukan untuk mengetahui laju produksi *Brown's gas* atau gas HHO yang dihasilkan oleh guna mengetahui seberapa bagus kinerja dari generator tersebut. Semakin tinggi laju produksi gas yang dihasilkan maka kita dapat mengetahui kerja terbaik dari Generator HHO yang kita gunakan. Laju produksi Gas HHO tergantung pada volume yang dihasilkan oleh Generator HHO setiap detiknya. Untuk mengetahui laju produksi *Brown's gas* atau gas HHO dapat ditunjukkan pada Persamaan (2-10) berikut (Sopandi, 2015).

$$Q = \frac{V}{t} \left[\frac{l}{s} \right] \quad (2-10)$$

Keterangan :

Q = Produktivitas Gas HHO (l/s)

V = Volume Gas HHO (l)

t = waktu yang digunakan untuk menghasilkan Gas HHO (s)

3. Efisiensi Generator HHO

Pengertian efisiensi adalah perbandingan antara energi yang dihasilkan (output) dengan jumlah energi yang digunakan (input) untuk melakukan proses tersebut. Untuk dapat menghitung efisiensi pada suatu sistem dapat dituliskan pada Persamaan (2-11) berikut (Williams, 2002).

$$\eta = \frac{\text{Energi yang dihasilkan}}{\text{Energi yang Digunakan}} \quad (2-11)$$

Pada proses elektrolisis air efisiensi didefinisikan sebagai jumlah energi yang dihasilkan (gas HHO) pada proses elektrolisis air (output) dibandingkan dengan jumlah energi yang dibutuhkan pada proses elektrolisis air (input) pada Generator HHO harus mengetahui terlebih dahulu jumlah energi yang digunakan (input) yang digunakan dalam proses elektrolisis air. Untuk mengetahui energi yang digunakan untuk elektrolisis air dapat ditentukan oleh kuat arus, tegangan, dan nilai hambatan yang digunakan selama proses elektrolisis air berlangsung. Untuk mengetahui hubungan kuat arus, tegangan dan nilai hambatan dalam proses elektrolisis air dapat dilihat pada Persamaan (2-12) berikut ini (Bueche, 195).

$$V = I \cdot R \quad (2-12)$$

Keterangan :

V= Beda Potensial Tegangan (Volt)

I = Kuat Arus Listrik (Ampere)

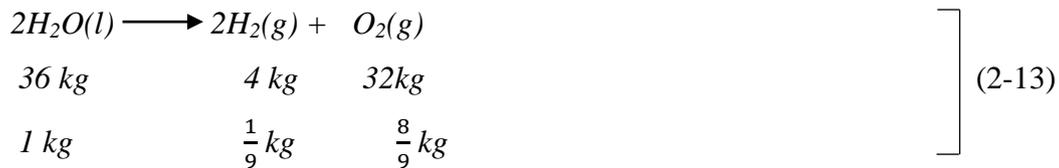
R = Hambatan (Ohm)

Energi berguna yang terkandung dalam bahan bakar merupakan hasil kali dari volume bahan bakar, massa jenis bahan bakar dan *Lower Heating Value* (LHV) bahan bakar. Oleh karena itu sebelumnya kita harus mengetahui masing masing nilai tersebut untuk mengetahui jumlah energi yang terkandung pada gas HHO.

Nilai- nilai yang perlu diketahui terlebih dahulu yaitu diantaranya massa jenis gas HHO dan nilai LHV untuk gas HHO.

- Menentukan massa jenis *Brown's gas*

Pada proses elektrolisis air terjadi proses pemisahan air menjadi hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2), jika massa air (H_2O) yang dielektrolisis sebesar 1 Kg maka dapat disimpulkan hasil produk *Brown's* juga terdiri dari massa total hidrogen (H_2) dan Oksigen (O_2) juga sebanyak 1 Kg. Menurut tabel periodik unsur bahwa nilai $Mr H_2O = 18$, $Mr H_2 = 2$, $Mr O_2 = 32$ maka didapat :



Dari persamaan reaksi di atas dapat di ketahui massa jenis *Brown's gas*. Jika pada kondisi STP (*standard temperature pressure*) massa jenis hidrogen (H_2) $\rho_{H_2} = 0,08235$ gr/lit dan oksigen (O_2) $\rho_{O_2} = 1,3088$ gr/liter (*Cole Parmer Instrument, 2005*), maka massa jenis *Brown's gas* (ρ_{HHO}) dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan (2-14) berikut ini.

$$\begin{aligned}
 \rho_{HHO} &= \frac{m_{HHO}}{V_{HHO}} = \frac{(m_{H_2} + m_{O_2})}{V_{HHO}} = \frac{(\rho_{H_2} \cdot V_{H_2} + \rho_{O_2} \cdot V_{O_2})}{V_{HHO}} \\
 &= \frac{(\rho_{H_2} \cdot \frac{2}{3} V_{HHO} + \rho_{O_2} \cdot \frac{1}{3} V_{HHO})}{V_{HHO}} \\
 &= \frac{2}{3} \rho_{H_2} + \frac{1}{3} \rho_{O_2} \\
 \rho_{HHO} &= \left(\frac{2}{3} \times 0,08235 \frac{\text{gr}}{\text{lt}} \right) + \left(\frac{1}{3} \times 1,3088 \frac{\text{gr}}{\text{lt}} \right) \\
 &= 0,491167 \text{ gram/lit}
 \end{aligned} \quad (2-14)$$

- *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 (2-15) berikut (Marlina, dkk. 2013).

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

$$\eta = \frac{M_{\text{HHO}} \times \text{LHV}_{\text{HHO}}}{P} \times 100 \%$$

$$\eta = \frac{Q_{\text{HHO}} \times \rho_{\text{HHO}} \times \text{LHV}_{\text{HHO}}}{P} \times 100\% \quad (2-15)$$

Keterangan :

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

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

ρ_{HHO} = massa jenis gas HHO (gr/l)

P = Daya yang digunakan untuk proses elektrolisis (Watt)

Dari persamaan (2-15) dapat disimpulkan bahwa efisiensi generator HHO berbanding terbalik dengan konsumsi daya yang digunakan untuk proses elektrolisis air. Semakin besar energi listrik yang digunakan untuk proses elektrolisis maka akan menyebabkan penurunan efisiensi Generator HHO dikarenakan nilainya berbanding terbalik (Wiryawan dll, 2013). Semakin kecilnya volume gas HHO yang dihasilkan maka nilai efisiensi yang dihasilkan juga menurun dikarenakan nilainya berbanding lurus.

2.13 Hipotesa

Penambahan jumlah pelat netral akan meningkatkan produktivitas *Brown's gas*, dikarenakan akan memperbanyak luas reaksi pada setiap pelat, dan terjadi distribusi temperatur yang lebih merata. Namun, penambahan pelat yang terlalu banyak akan menambah hambatan pada generator HHO sehingga membutuhkan daya yang lebih besar.

Sedangkan untuk posisi susunan lubang pelat netral yang paling baik adalah posisi susunan vertikal, horizontal, dan berselang-seling. Hal tersebut dikarenakan semakin baik laju aliran elektrolit dan gas hasil elektrolisis, akan menghantarkan reaksi yang lebih menyeluruh pada permukaan generator HHO sehingga produktivitas *Brown's gas* lebih tinggi.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian yang dilakukan menggunakan metode eksperimental (*experimental research*), untuk dapat menganalisis sebab dan akibat dari suatu proses melalui pengamatan secara langsung. Sehingga dapat mengetahui pengaruh variasi susunan posisi lubang dan jumlah pelat netral pada *electrolyzer* tipe *dry cell* terhadap produktivitas *Brown's Gas*.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Persiapan perlengkapan, pembuatan instalasi alat, dan proses pengambilan data dilakukan di Laboratorium Surya dan Energi Alternatif, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya pada bulan April 2018 – Selesai.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang nilainya ditentukan peneliti yang kondisinya dapat diubah dengan menggunakan metode tertentu untuk mendapatkan variabel terikat dari objek penelitian, dan dapat diperoleh hubungan antar keduanya. Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah :

- Posisi lubang yang disusun secara horizontal, vertikal, dan berselang-seling.
- Jumlah pelat netral yaitu sebanyak 2, 4, 6, dan 8.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang nilainya bergantung pada variabel bebas dan diketahui setelah dilakukan penelitian. Variabel terikat yang diamati pada penelitian ini adalah :

- Temperatur (°C)
- Daya yang dibutuhkan (Watt)
- Produktivitas *Brown Gas* (L)
- Efisiensi Generator HHO (%)

3. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol merupakan variabel yang nilainya dibatasi atau selalu dijaga konstan oleh peneliti pada setiap melakukan penelitian. Variabel terikat pada penelitian ini adalah :

- Volume air yang digunakan adalah 2,5 liter atau 2500 ml.
- Persentase fraksi massa katalis NaOH yang dilarutkan adalah 1,77% (45 gram).
- Kuat arus listrik (*Ampere*) yang digunakan adalah 10 A.
- Suhu awal reaksi pada *range* 28 - 31 °C.
- Jenis pelat yang digunakan adalah pelat *Stainless Steel* 304 L.
- Jumlah pelat sisi yang digunakan sebanyak 1 pasang.

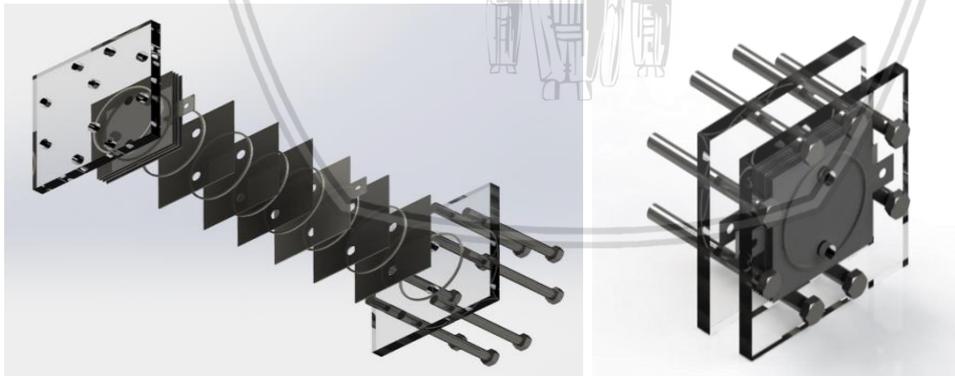
3.4 Alat dan Bahan Penelitian

3.4.1 Alat Penelitian

Berikut adalah komponen utama pada penelitian:

1. *Electrolyzer* (generator HHO)

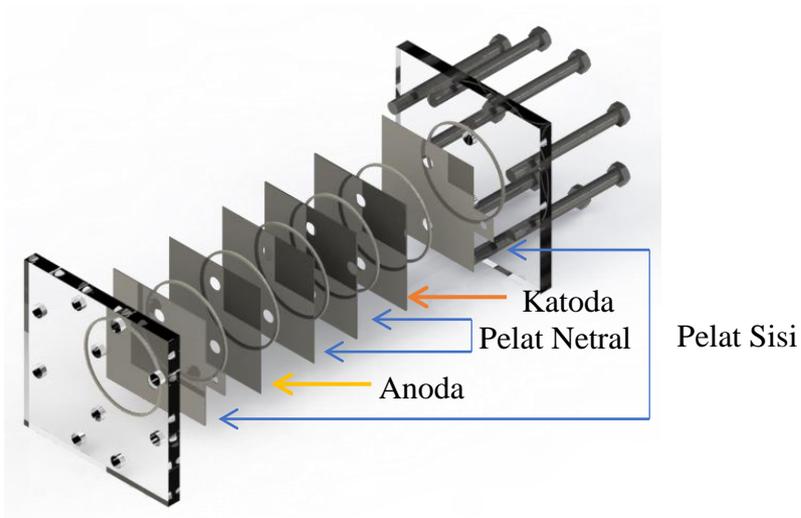
Merupakan alat yang digunakan untuk menghasilkan *Brown's Gas* dalam proses elektrolisis air, yang terdiri dari pelat *Stainless Steel* 304 sebagai elektroda yang dialiri listrik.



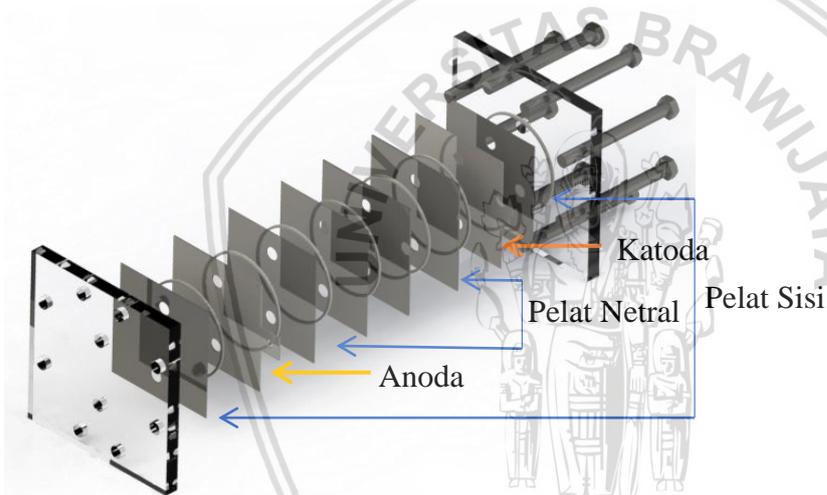
(a)

(b)

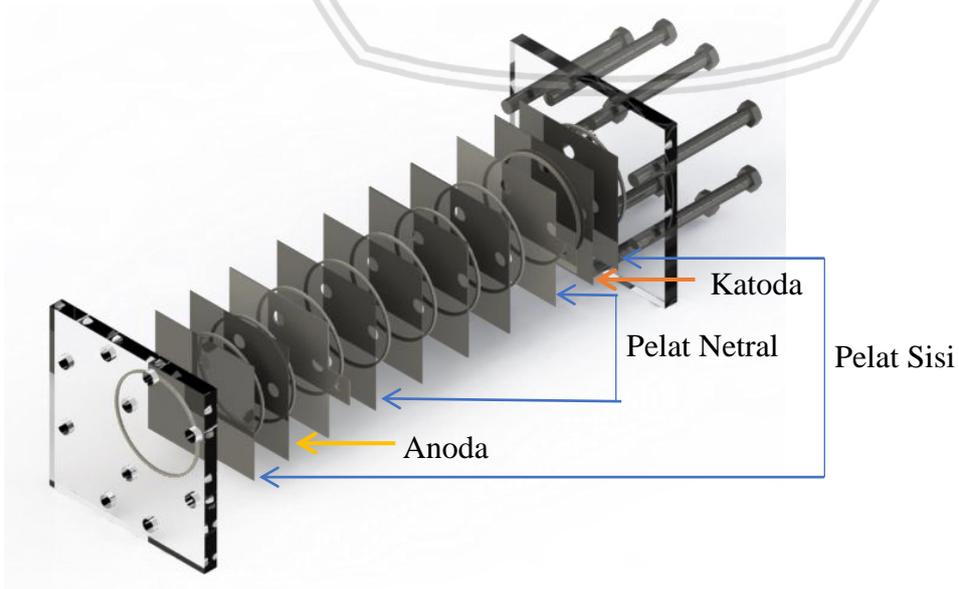
Gambar 3.1 a. Penyusunan komponen *electrolyzer* (generator HHO)
b. *Assembly electrolyzer* (generator HHO)



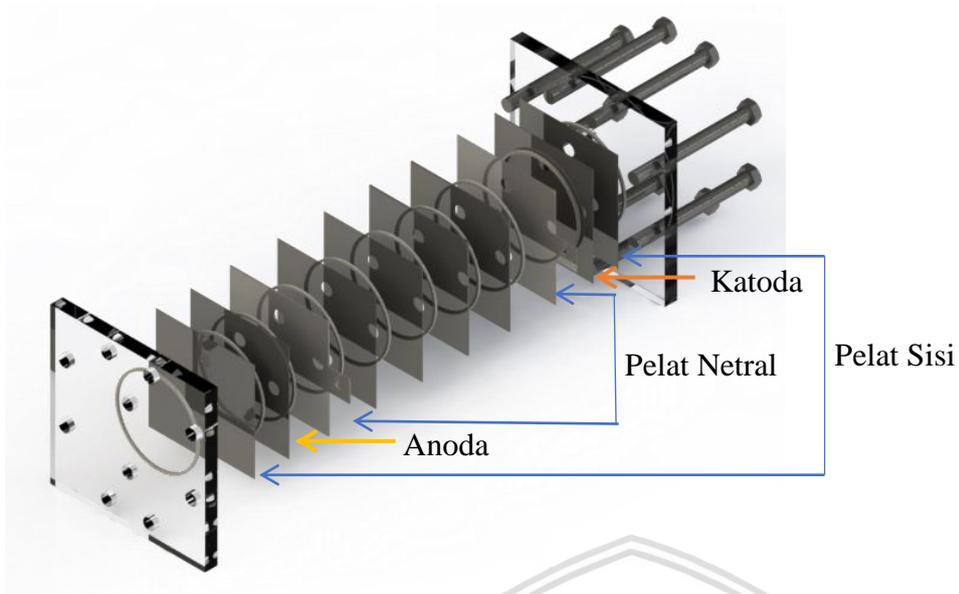
Gambar 3.2 Electrolyzer dengan 2 pelat netral



Gambar 3.3 Electrolyzer dengan 4 pelat netral



Gambar 3.4 Electrolyzer dengan 6 pelat netral



Gambar 3.5 Electrolyzer dengan 8 pelat netral

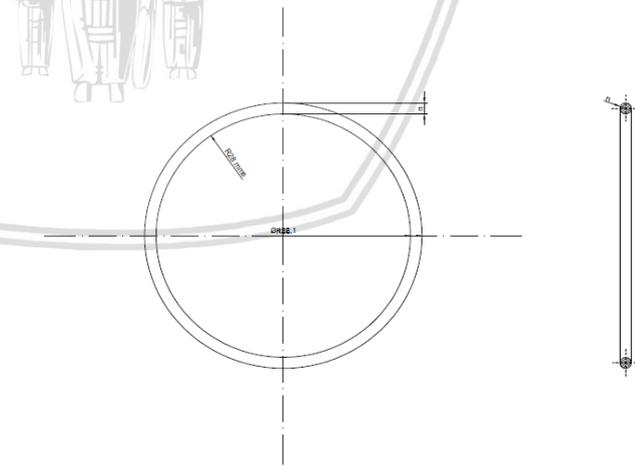
Bagian *Electrolyzer* (generator HHO) tipe *dry cell* :

➤ Gasket (Sekat)

Sebagai pemberi jarak antara satu pelat dengan pelat lainnya. Pada penelitian ini gasket (sekat) yang digunakan untuk memberi jarak celah antar pelat yaitu menggunakan *O-Ring seal* dengan ketebalan 1.5 mm.



(a)

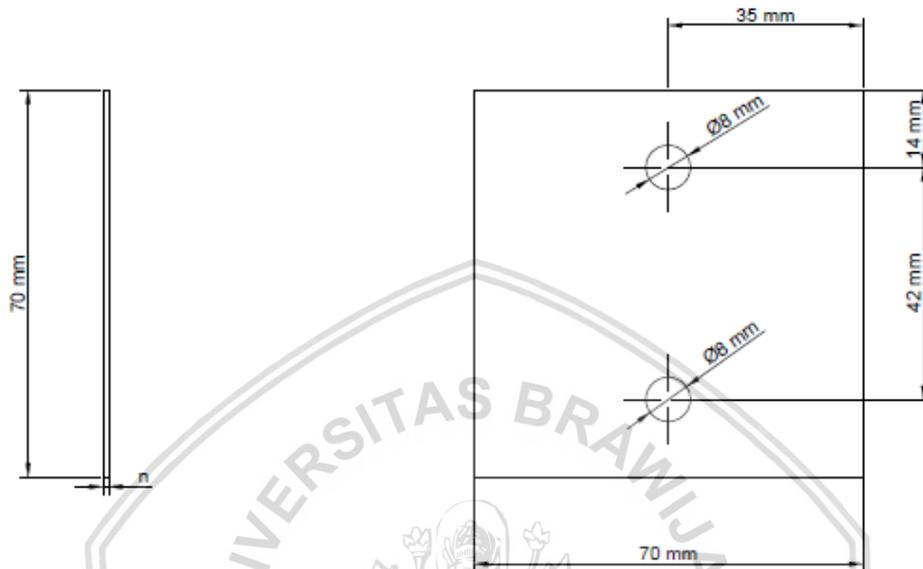


(b)

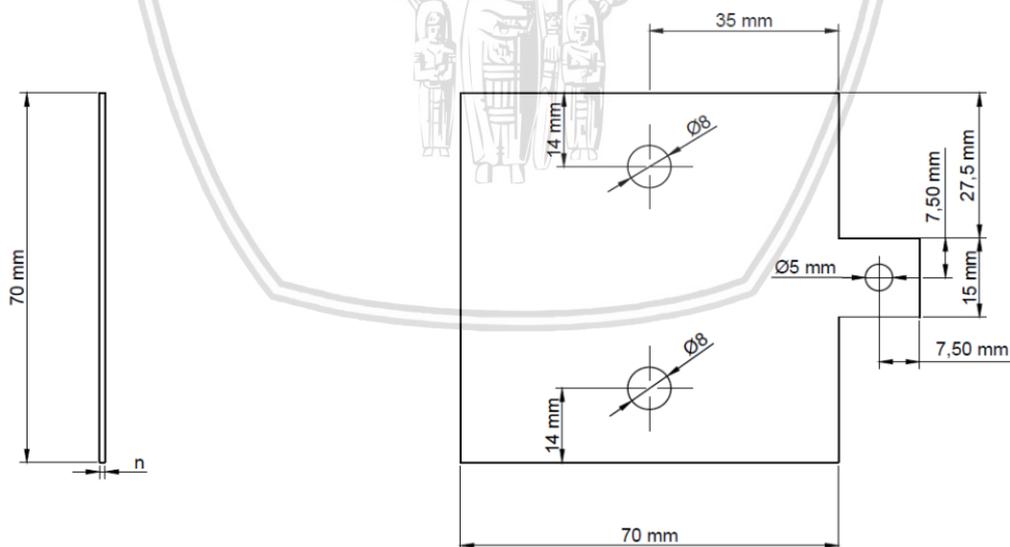
Gambar 3.6 a. Bentuk real *o-ring seal*
b. Dimensi gambar *o-ring seal*

➤ Pelat Elektroda

Pelat yang digunakan adalah jenis *Stainless Steel 304 L* yang digunakan sebagai elektroda (katoda dan anoda), pelat netral, dan pelat sisi. Bahan tersebut dipilih dengan pertimbangan bahan ini tidak mudah terkorosi, mudah didapatkan dan harganya terjangkau.



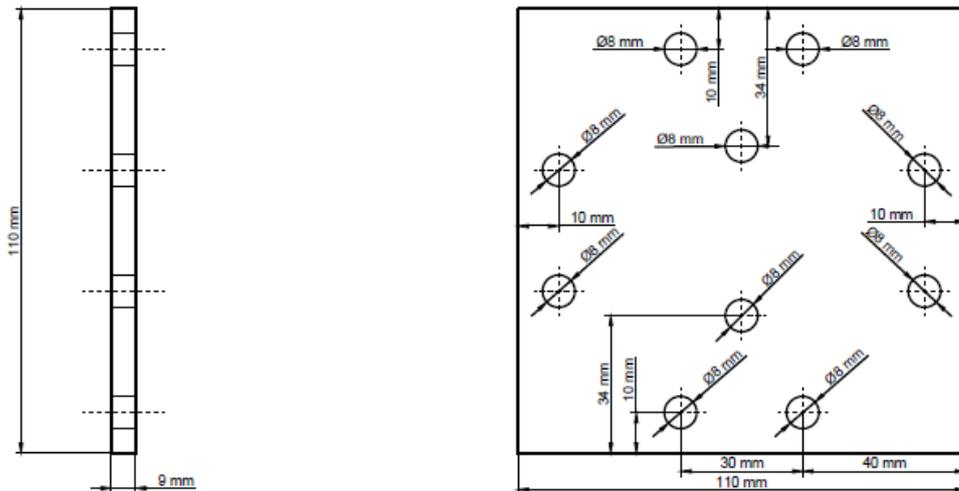
Gambar 3.7 Dimensi gambar pelat netral dan pelat sisi



Gambar 3.8 Dimensi gambar pelat elektroda

➤ Akrilik Bening

Akrilik bening berguna untuk menjepit dan mengunci tumpukan pelat dengan gasket. Bahan yang digunakan adalah akrilik bening ketebalan 6 mm. dengan akrilik bening diharapkan reaksi larutan yang di elektrolisis akan terlihat.



Gambar 3.9 Dimensi akrilik bening

2. *Bubbler Box*

Bubbler Box merupakan sebuah wadah plastik untuk menampung larutan elektrolit (campuran air dengan katalis) dan juga digunakan sebagai tempat pemisahan antara *Brown's gas* (gas HHO) dengan air setelah melalui proses elektrolisis. Kapasitas *Bubbler box* yang digunakan adalah 2500 ml.



Gambar 3.10 *Bubbler box*

3. Selang

Selang digunakan sebagai media untuk menghubungkan antara *electrolyzer* (generator HHO) dengan *bubbler* serta sebagai tempat bersirkulasinya air dan gas. Selain itu juga selang di gunakan untuk menghubungkan *bubbler* dengan tabung ukur volume. Selang yang digunakan adalah selang dengan diameter 8 mm.



Gambar 3.11 Selang

4. Inverter (*Power Supply*)

Dalam proses elektrolisis air perlu digunakan energi listrik untuk memecah molekul air. Pada penelitian ini digunakan inverter sebagai *power supply* dalam melakukan proses elektrolisis air. Inverter merupakan alat untuk menghasilkan sumber listrik DC dari sumber listrik AC yang dapat diatur besaran kuat arus listrik (*I*) outputnya.



Gambar 3.12 Inverter

Spesifikasi:

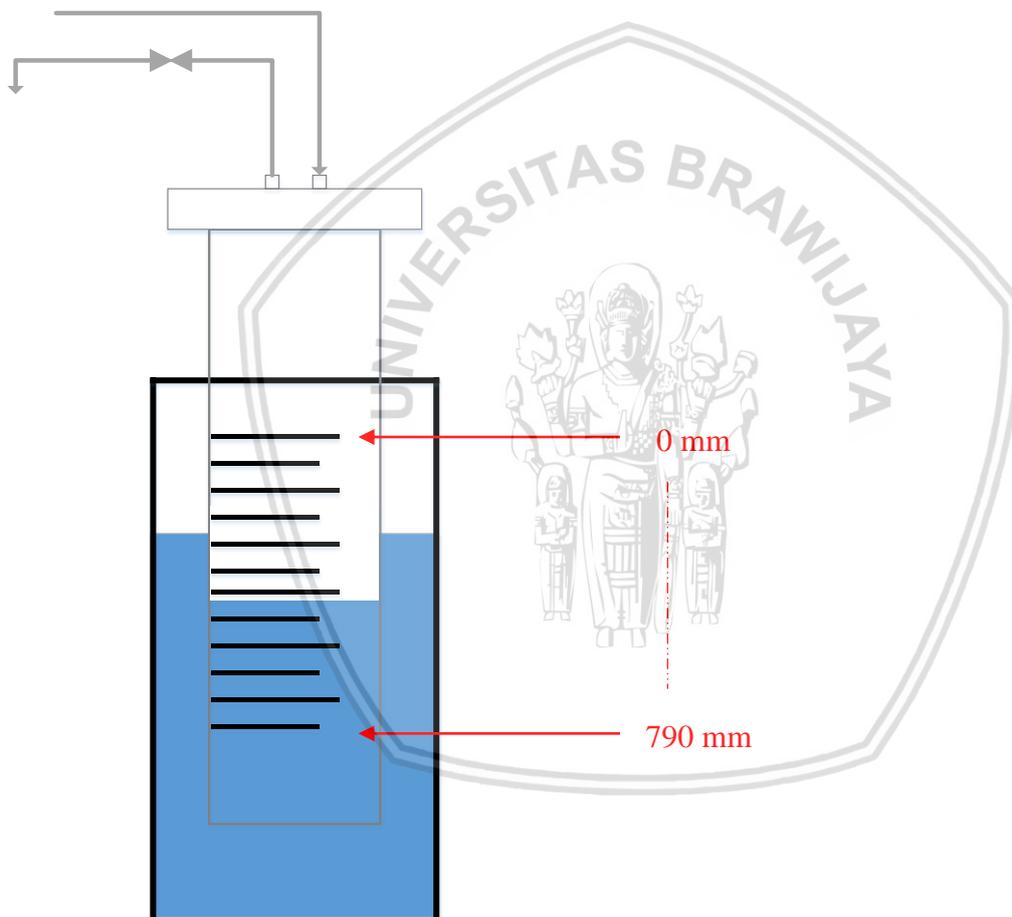
- Merk : Lakoni Falcon 120e
- Daya Maksimum : 900 Watt
- Arus *Output* : 10 – 120 Ampere
- *Input* : AC (*Alternating Current*) 220 Volt
- *Output* : DC (*Direct Current*)

5. Kabel

Kabel digunakan untuk mengalirkan listrik dari inverter (*power supply*) menuju ke *electrolyzer* dan digunakan juga dalam penginstalasian kelistrikan. Kabel jenis NYAF diameter 10 mm dengan tegangan 600/1000 Volt adalah kabel yang digunakan.

6. Tabung Ukur Volume

Tabung ukur ini digunakan untuk mengukur seberapa volume dari *Brown's gas* (gas HHO) dengan volume ukur maksimal 1.552 l atau dalam kenaikan setara dengan 790 mm, sedangkan tabung memiliki diameter 50 mm.



Gambar 3.13 Skema pengukuran volume dengan tabung ukur volume

7. Digital Multitester

Digunakan untuk mengukur tegangan (*voltage*) yang mengalir pada *electrolyzer* (generator HHO).



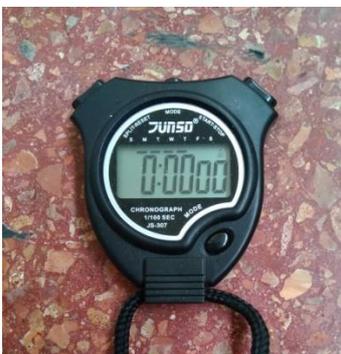
Gambar 3.14 Digital multimeter

Spesifikasi :

- Merk : PROHEX
- Tipe : MY-60
- *Maximum Display* : Numeral display 4000
- Dimensi : 75 x 130 x 36 mm, berat 150 g
- DCV : 200mV – 500V
- ACV : 200 - 500V
- DCA : 20mA – 10A
- ACA : 40mA – 400mA
- Ω : 200m Ω – 20M Ω
- Baterai : 0.5A/250V

8. Stopwatch

Digunakan untuk mengukur rentang waktu saat pengambilan data setiap pengambilan data.



Gambar 3.15 Stopwatch

9. Timbangan Digital

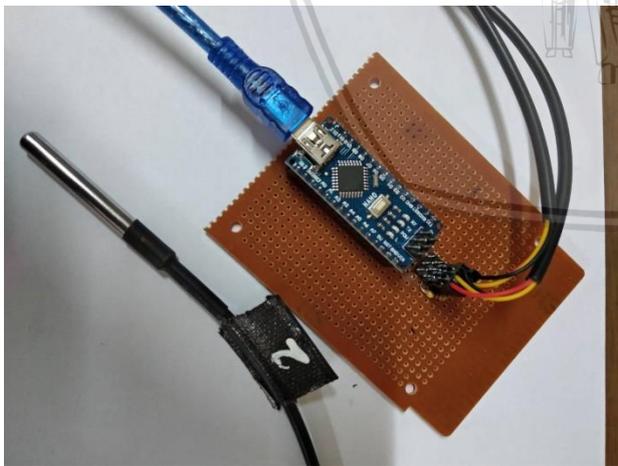
Digunakan untuk mengukur berat katalis yang akan dilarutkan dalam air sebagai elektrolit, untuk mempercepat reaksi.



Gambar 3.16 Timbangan digital

10. Arduino Nano dan Sensor Suhu

Digunakan untuk mengukur temperatur larutan pada *electrolyzer* (generator HHO) pada satuan *Celsius* ($^{\circ}\text{C}$). Sensor diletakkan pada bagian dalam selang keluar *electrolyzer* untuk mengukur temperatur larutan setelah melalui proses elektrolisis, yang kemudian diolah oleh *software* yang sudah di *install* pada *laptop*.



Gambar 3.17 Arduino Nano dan Sensor Suhu

Spesifikasi *Arduino Nano* :

- Microcontroller Atmel ATmega328
- Operating Voltage (logic level) 5 V
- Input Voltage (recommended) 7-12 V, (limit) 6-20 V
- Digital I/O Pins 14 (of which 6 provide PWM output)
- Analog Input Pins 8
- DC Current per I/O Pin 40 mA
- Flash Memory 32 KB (ATmega328) of which 2 KB used by bootloader
- Clock Speed 16 MHz
- Dimensions 0,73" x 1.70"

Spesifikasi Sensor :

- Temperature range : -55 to 125°C
- 9 to 12 bit Resolution
- 1-Wire Protocol
- Unique 64 bit ID burned into chip
- $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ Accuracy from -10°C to 85°C
- Query time less than 750ms
- Usable with 3.0V to 5.5V power/data

3.4.2 Bahan Penelitian

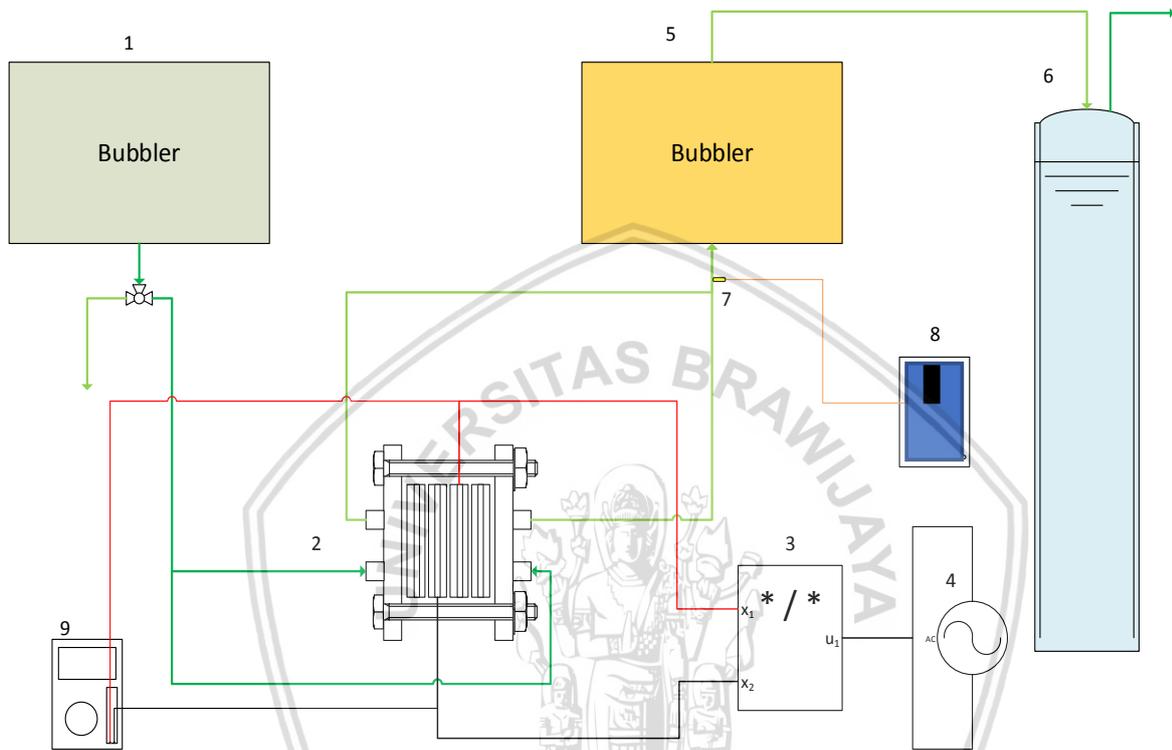
Bahan larutan elektrolit yang digunakan adalah katalis NaOH (Natrium Hidroksida) murni seperti terlampir pada gambar 3.18, dan digunakan sebanyak 45 gram untuk setiap pelarut sebanyak 2500 ml.



Gambar 3.18 Katalis NaOH

3.5 Instalasi Penelitian

Instalasi penelitian merupakan konsep perakitan antara *electrolyzer dry cell* (generator HHO) dengan alat penunjang lainnya seperti Inverter, *Bubbler* dan alat ukur. Skema instalasi dapat dilihat pada Gambar 3.19.



Gambar 3.19 Instalasi alat penelitian

Keterangan :

1. *Bubbler* Elektrolit Masuk
2. Generator HHO tipe *Dry Cell*
3. *Inverter*
4. Sumber Listrik AC (PLN)
5. *Bubbler* Elektrolit Setelah Reaksi
6. Tabung Ukur
7. Sensor Suhu
8. Arduino Nano
9. *Digital Multimeter*

3.6 Prosedur Penelitian

Langkah yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur

Bertujuan untuk mempelajari dan memahami teori-teori yang berkaitan dengan penelitian sehingga dapat mendukung dan memperjelas hasil penelitian.

2. Observasi komponen

Melakukan survey terhadap komponen yang diperlukan untuk pembuatan alat penelitian.

3. Perancangan alat

Dengan membuat rancangan desain *electrolyzer* tipe *dry cell* dan instalasi penelitian yang digunakan.

4. Pembuatan alat

Pembuatan alat dilakukan dengan mempersiapkan komponen *electrolyzer dry cell* yang terbuat dari pelat *Stainless Steel* 304 L dan akrilik bening sebagai *casing*. Proses ini merupakan realisasi dari desain yang sudah dibuat.

5. Instalasi alat

Mempersiapkan *power supply*, *bubbler box*, tabung ukur volume, alat ukur *voltage*, dan selang sebagai penghubungnya, untuk kemudian dirangkai sesuai dengan skema kerja.

6. Pengujian dan pengambilan data

Pengujian pada instalasi *electrolyzer dry cell* (generator HHO) untuk mengamati tegangan, temperatur, daya, dan volume *Brown's gas* yang dihasilkan.

7. Hasil dan pembahasan

Pembahasan dilakukan dengan melakukan pengolahan yang kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik.

3.7 Prosedur Pembuatan Model

Berikut adalah prosedur pembuatan model:

1. Siapkan bahan pembuatan *electrolyzer dry cell* : *Casing electrolyzer* dibuat dari akrilik bening berukuran 110 mm x 110 mm dengan tebal akrilik 6 mm, pelat elektroda dan pelat netral berbahan *Stainless Steel* 304 L dengan tebal 1 mm, selang bening, sekat *O-Ring* dengan diameter 5,8 cm dan ketebalan 1.5 mm, *nozzle* kuningan berdiameter 8 mm, serta mur dan baut.
2. Buat lubang instalasi mur dan baut sebanyak 8 buah pada tiap sisi samping *casing electrolyzer*. Kemudian buat lubang di tengah sebanyak 2 buah di tiap sisi sebagai saluran elektrolit. Masing-masing diameter lubang berukuran 8 mm.

3. Berilah *nozzle* berbahan kuningan dengan diameter ulir 8 mm dan tempatkan pada lubang berdiameter 8 mm pada tengah *casing* akrilik tersebut sebagai tempat keluarnya gas dan masuknya air sebanyak 4 buah.
4. Potonglah pelat *Stainless Steel 304 L* berukuran 70 mm x 70 mm sebanyak 10 buah untuk pelat netral dan 90 x 90 mm sebanyak 2 buah untuk pelat elektroda.
5. Lubangi semua material dengan diameter berukuran 8 mm sebanyak 2 buah setiap bagian tengah pelat.
6. Susunlah *casing* dan elektroda secara sejajar dengan meletakkan karet *O-Ring* disela – sela akrilik dan pelat elektroda.
7. Kunci susunan akrilik dan pelat elektroda dengan beberapa mur dan baut pada setiap sisi tepi yang telah dilubangi.
8. *Electrolyzer* telah siap diuji dan digunakan dengan mengalirkan tegangan listrik pada kedua ujung elektroda (anoda dan katoda).

3.8 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

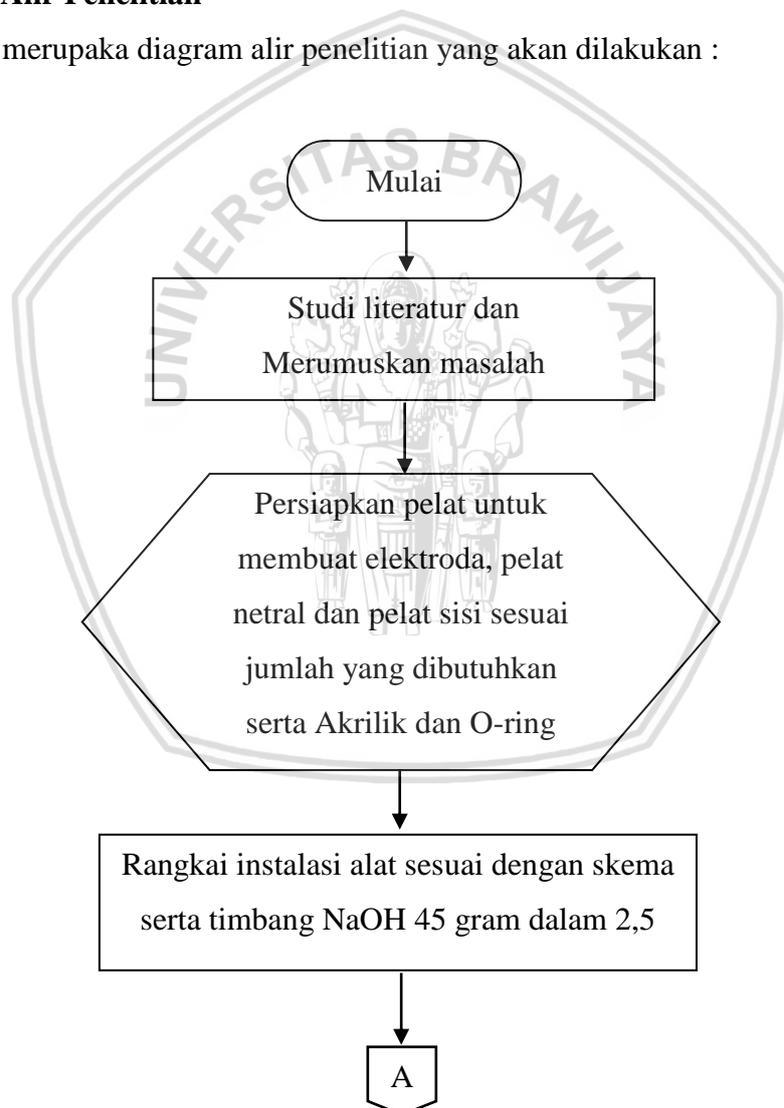
Pelaksanaan penelitian dapat dilakukan sebagai berikut:

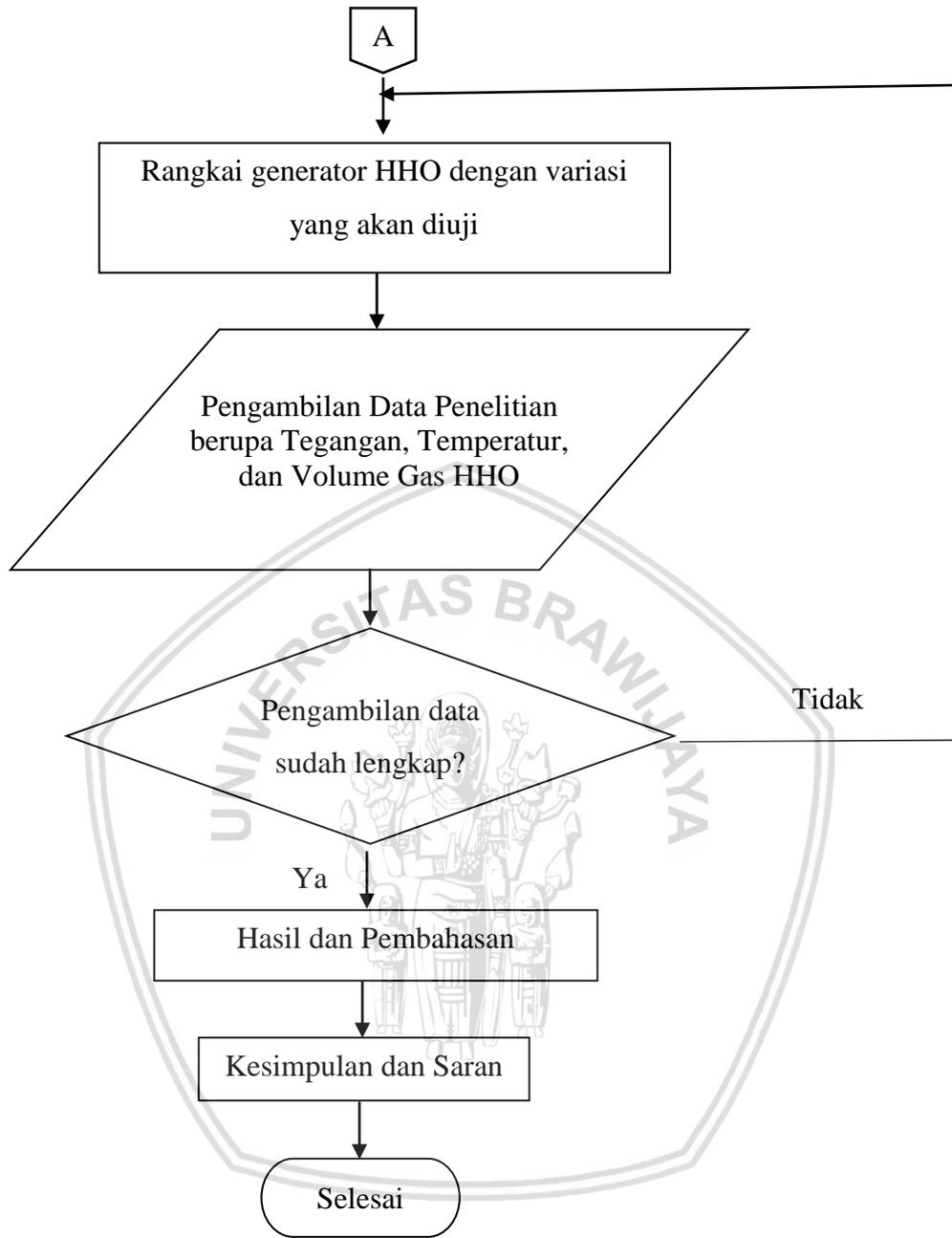
1. Susun komponen instalasi alat penelitian sesuai dengan skema instalasi
2. Buatlah larutan elektrolit dengan mencampur 2500 ml air dengan NaOH sebanyak 45 gram, kemudian masukkan larutan tersebut ke dalam *bubbler*
3. Sambungkan sumber tegangan pada inverter (*power supply*) dengan pelat elektroda pada *electrolyzer*.
4. Hidupkan inverter, atur pada arus listrik yang digunakan sebesar 10 Ampere
5. Bersamaan dengan dinyalakannya *power supply*, jalankan program *Arduino* yang terhubung dengan sensor suhu
6. Tiap 10 sekon lakukan pencatatan suhu, tegangan DC dan volume alir *Brown's Gas* yang dihasilkan menggunakan tabung ukur volume sampai tabung terisi penuh
7. Turunkan arus listrik hingga nol lalu matikan inverter
8. Amati pertambahan volume air selama pengujian dengan menghitung volume yang ditambahkan untuk menjaga volume *bubbler* tetap pada kapasitas 2500 ml
9. Matikan program *Arduino* yang mencatatkan suhu dan salin hasil yang didapatkan ke *Microsoft Excel*
10. Buang air sisa elektolisis, bersihkan *bubbler* dan *electrolyzer* dengan cara melepas baut pengencangnya. Bersihkan setiap lembaran pelat dan *O-Ring* yang digunakan

11. Ulangi langkah 2 sampai langkah 10 dengan melakukan perubahan posisi susunan lubang horizontal, vertikal, dan berselang-seling, pada setiap perubahan penambahan jumlah pelat netral 2, 4, 6, dan 8. Kencangkan rangkaian *electrolyzer* dengan baut dan mur.
12. Melakukan analisa dan pengolahan terhadap data hasil yang diperoleh dari proses elektrolisis air untuk mendapatkan efisiensi *electrolyzer*, produktivitas *Brown's gas* yang dihasilkan, daya yang dibutuhkan *electrolyzer* serta temperatur larutan elektrolit pada saat proses elektrolisis berlangsung.

3.9 Diagram Alir Penelitian

Berikut merupakan diagram alir penelitian yang akan dilakukan :





Gambar 3.20 Diagram alir penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Contoh Perhitungan Data

Berikut ini beberapa contoh perhitungan data berdasarkan variabel terikat yang dibutuhkan sebagai hasil penelitian :

1. Daya generator HHO

Daya generator HHO menunjukkan nilai energi listrik yang digunakan saat proses elektrolisis. Nilai daya dipengaruhi oleh besar nilai arus listrik dan besar nilai voltase yang digunakan. Pada penelitian ini digunakan besar arus konstan 10 A, dan besar voltase (Volt) yang digunakan sesuai dengan nilai yang tertera pada *Avometer* pada saat pengujian. Besar daya yang di dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$P = V \cdot I \text{ (Watt)}$$

$$P = 18,6 \cdot 10$$

$$P = 186 \text{ (Watt)}$$

2. Laju produksi *Brown's Gas*

Laju produksi merupakan nilai kemampuan generator HHO memproduksi *Brown's gas* tiap satuan waktu. Pada penelitian ini didapatkan data berupa pertambahan volume (*l*) yang dicatat setiap sepuluh detik. Besar laju produksi *Brown's gas* dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$Q = \frac{V}{t} \left[\frac{ml}{s} \right]$$

$$Q = \frac{0,216}{10} \left[\frac{l}{s} \right]$$

$$Q = 0,0216 \left[\frac{l}{s} \right]$$

3. Efisiensi generator HHO

Perhitungan efisiensi dilakukan untuk mengamati kinerja generator HHO yang terbaik. Perhitungan efisiensi dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$\eta = \frac{Q_{\text{HHO}} \times \rho_{\text{HHO}} \times \text{LHV}_{\text{HHO}}}{P} \times 100\%$$

Dimana :

ρ_{HHO} = Massa jenis *Brown's Gas*, sebesar : 0,491167 gr/l

LHV_{HHO} = *Low Heating Value*, sebesar : 13250 J/gr

Sedangkan data yang diperoleh saat penelitian adalah besar laju produksi *Brown's gas* (Q) dan besar daya yang digunakan oleh generator HHO (P), dengan besar masing-masing :

$Q = 15 \text{ (ml/s)} = 0,015 \text{ (l/s)}$

$P = 420 \text{ Watt} = 420 \text{ (J/s)}$

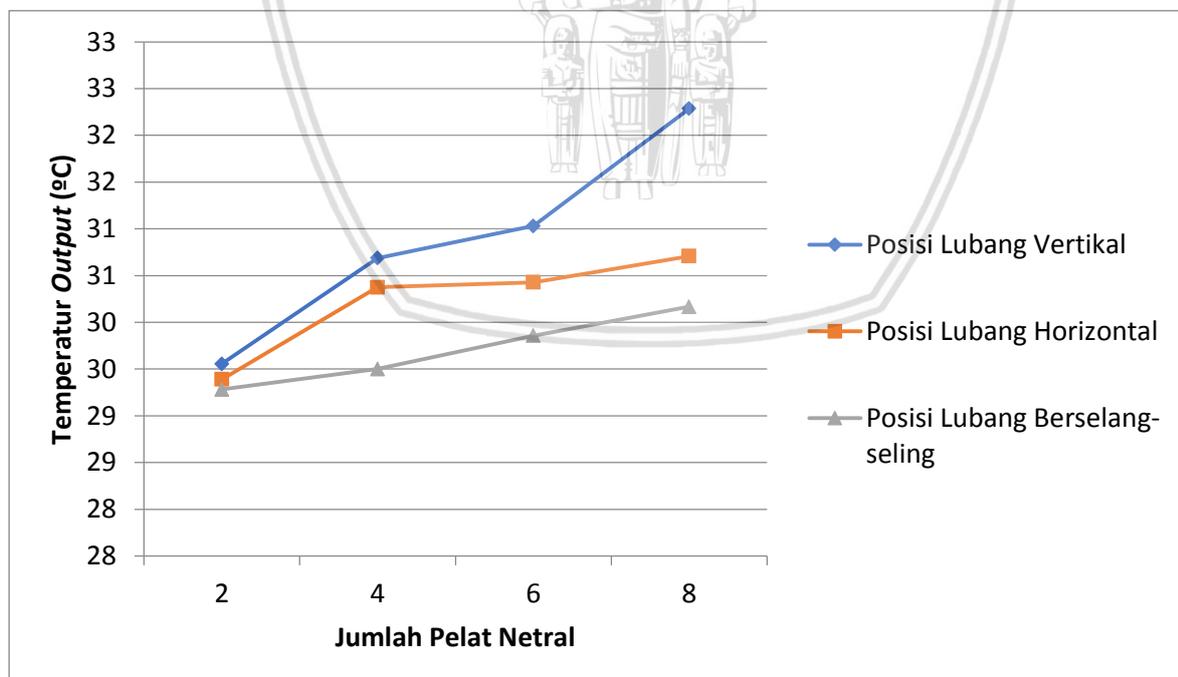
Maka :

$$\eta = \frac{0,015 \frac{\text{l}}{\text{s}} \times 0,491167 \frac{\text{gr}}{\text{l}} \times 13250 \text{ J/gr}}{420 \text{ J/s}} \times 100\%$$

$$\eta = 23,24 \%$$

4.2 Grafik dan Pembahasan

4.2.1 Grafik Hubungan antara Jumlah Pelat terhadap Temperatur Output



Gambar 4.1 Hubungan antara Jumlah Pelat terhadap Temperatur Output

Pada Gambar 4.1 ditunjukkan kecenderungan peningkatan nilai temperatur *output* dalam satuan derajat *Celcius* terhadap penambahan jumlah pelat netral. Temperatur *output*

tertinggi didapatkan pada variasi 8 pelat netral dan susunan posisi lubang vertikal sebesar $32,29^{\circ}\text{C}$, sedangkan data terendah pada variasi 2 pelat netral dan susunan posisi lubang berselang-seling sebesar $29,28^{\circ}\text{C}$. Hal ini dapat terjadi karena semakin bertambah jumlah pelat netral maka semakin bertambah pula luas permukaan pada generator sehingga terjadi lebih banyak reaksi elektrolisis. Dengan lebih banyaknya terjadi reaksi elektrolisis maka panas yang dimiliki oleh campuran gas dan elektrolit pada *output* akan semakin besar karena elektrolisis termasuk reaksi endoterm yang menyerap panas dari lingkungan, sehingga hasil reaksinya akan memiliki temperatur yang lebih tinggi.

Pada perbedaan posisi lubang juga terdapat perbedaan nilai temperatur. Pada generator dengan posisi susunan lubang vertikal menghasilkan temperatur *output* yang paling tinggi dengan nilai rata-rata $30,82^{\circ}\text{C}$, kemudian diikuti oleh posisi susunan horizontal dengan rata-rata $30,23^{\circ}\text{C}$, dan temperatur *output* paling rendah pada susunan berselang-seling dengan rata-rata $29,77^{\circ}\text{C}$. Hal tersebut dikarenakan terjadi perbedaan proses sirkulasi elektrolit dan gas hasil produksi pada setiap variasi susunan posisi pelat.

Pada susunan posisi vertikal memiliki sirkulasi pada generator HHO yang lebih baik. Hal tersebut dikarenakan elektrolit yang masuk ke dalam generator dapat masuk melalui lubang bagian bawah pada susunan vertikal yang langsung bereaksi sesaat setelah kontak dengan elektroda. Kemudian *Brown's gas* yang terbentuk akan terdorong keluar melalui lubang bagian atas. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.2.

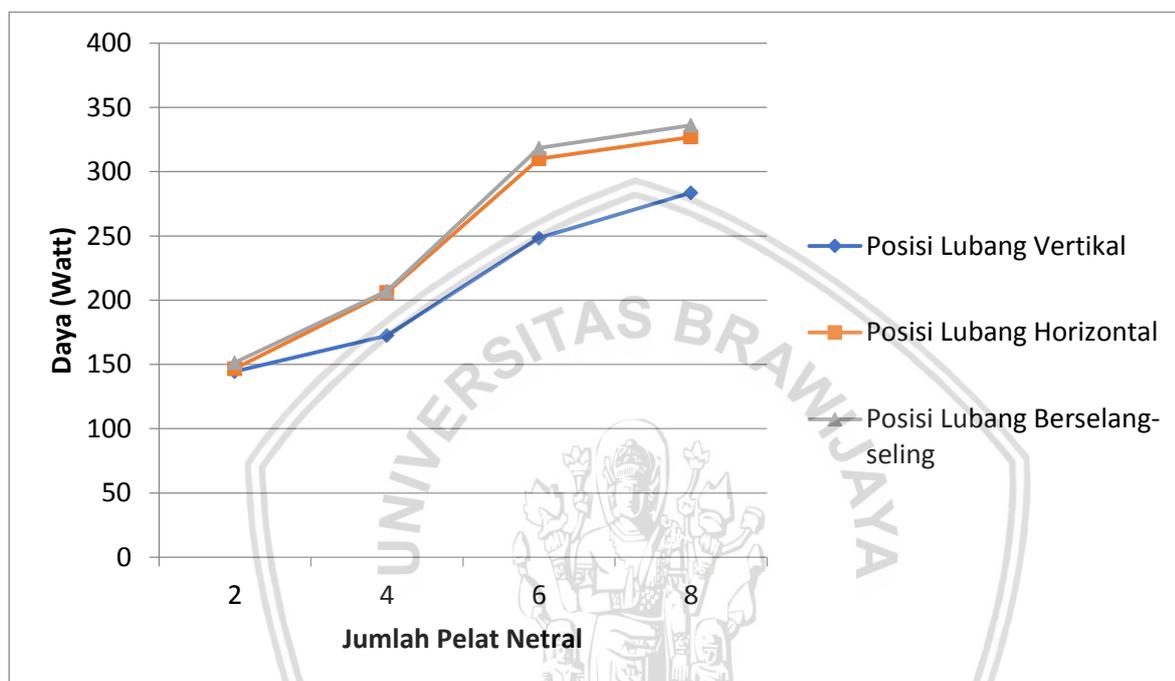


Gambar 4.2 *Sample* Susunan Pelat Vertikal Setelah Reaksi

Dari gambar 4.2 dapat diketahui reaksi elektrolisis terjadi terlebih dahulu pada bagian bawah dalam generator HHO. Pada susunan horizontal dan berselang-seling memiliki sirkulasi yang kurang baik dikarenakan *Brown's gas* yang dihasilkan cenderung

terjebak di dalam generator terlebih dahulu sebelum mampu terdorong keluar, sehingga terjadi penyerapan temperatur oleh pelat dan elektrolit yang terus mengalir ke dalam generator. Hal tersebut menyebabkan temperatur *output* pada susunan horizontal dan berselang-seling memiliki rata-rata yang lebih rendah dibandingkan dengan posisi vertikal.

4.2.2 Grafik Hubungan antara Jumlah Pelat terhadap Daya Generator HHO



Gambar 4.3 Hubungan antara Jumlah Pelat terhadap Daya Generator HHO

Pada Gambar 4.3 ditunjukkan kecenderungan peningkatan nilai daya dalam satuan *Watt* terhadap penambahan jumlah pelat netral. Besarnya nilai daya dipengaruhi oleh nilai tegangan dan arus listrik, sedangkan nilai tegangan dipengaruhi oleh besarnya nilai hambatan dan arus listrik, sesuai dengan rumus berikut :

$$P = V \cdot I \text{ (Watt)}$$

$$V = R \cdot I \text{ (Volt)}$$

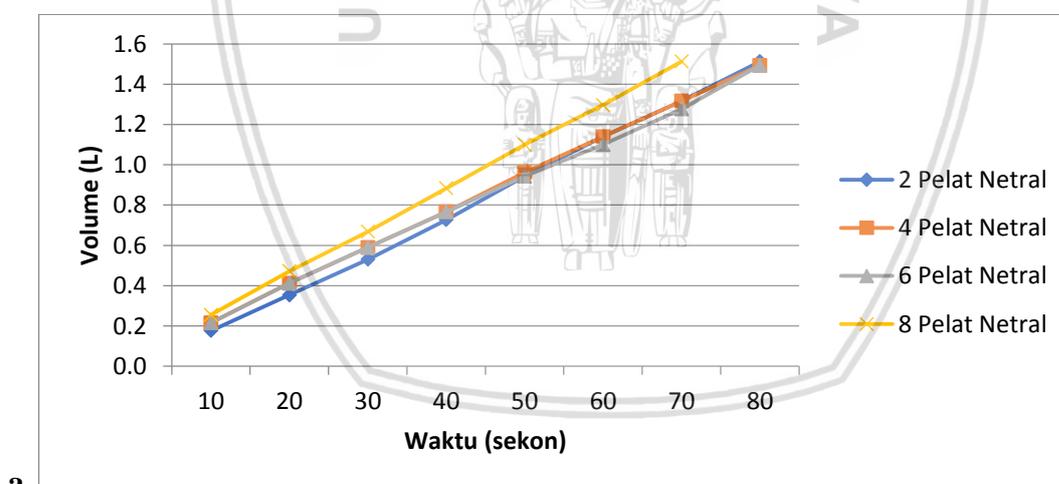
Besarnya arus listrik yang digunakan pada penelitian ini dijaga konstan sebesar 10 A, sehingga nilai yang berpengaruh pada besarnya daya adalah tegangan. Dan besarnya nilai tegangan hanya dipengaruhi oleh hambatan.

Nilai daya yang terbesar terdapat pada variasi 8 pelat netral dan susunan posisi lubang berselang-seling sebesar 336,2 Watt. Sedangkan pada variasi 2 pelat netral dan susunan posisi lubang vertikal membutuhkan daya paling kecil yaitu sebesar 144,5 Watt.

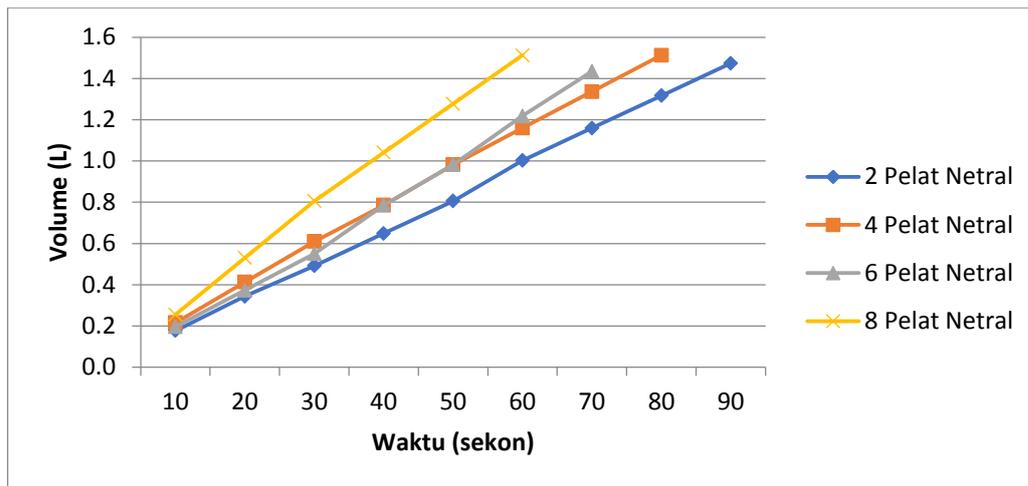
Jika ditinjau sesuai dengan rumus diatas, pada penambahan jumlah pelat akan meningkatkan daya yang dibutuhkan untuk melakukan proses elektrolisis. Hal tersebut dikarenakan setiap penambahan pelat akan meningkatkan luas permukaan yang mengakibatkan meningkatnya hambatan pada generator HHO dan meningkatkan kebutuhan energi untuk melakukan reaksi pada setiap pelat. Selain itu, nilai temperatur juga mempengaruhi besarnya nilai hambatan. Hal ini sesuai dengan penelitian Julianto pada tahun 2013 yang menunjukkan kenaikan temperatur akan meningkatkan nilai hambatan. Semakin tinggi temperatur bahan maka susunan atom-atomnya semakin tidak teratur, sehingga hambatan bahan semakin besar (Surya, 2009).

Pada grafik juga dapat disimpulkan bahwa nilai daya pada susunan posisi vertikal memiliki daya yang lebih rendah dibandingkan susunan horizontal dan berselang-seling. Hal tersebut berkaitan dengan sirkulasi yang terjadi pada generator HHO. Saat sirkulasi terjadi dengan baik maka menghasilkan temperatur sistem yang lebih rendah, sehingga nilai hambatan yang mempengaruhi besarnya nilai daya juga terbilang rendah.

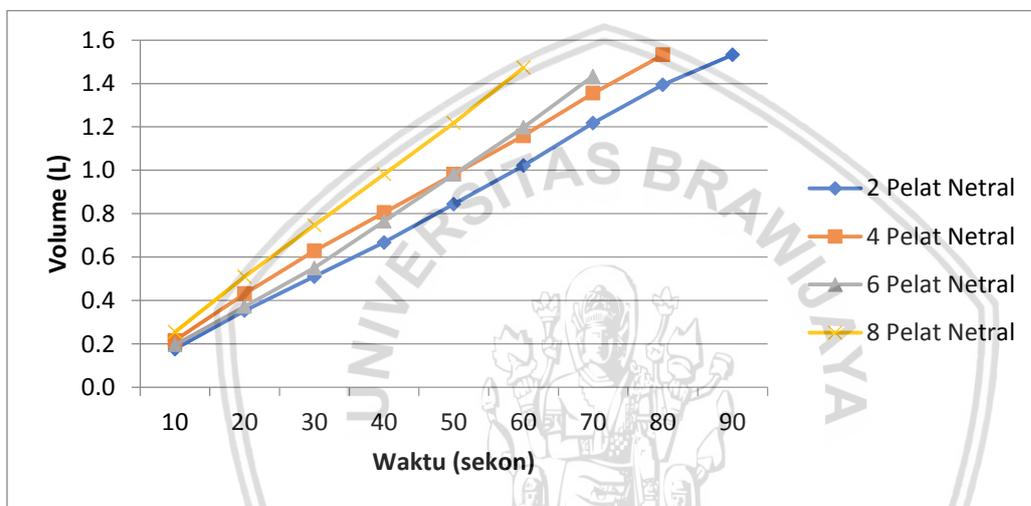
4.2.3 Grafik Hubungan antara Jumlah Pelat terhadap Produktivitas *Brown's Gas*



a.



b.



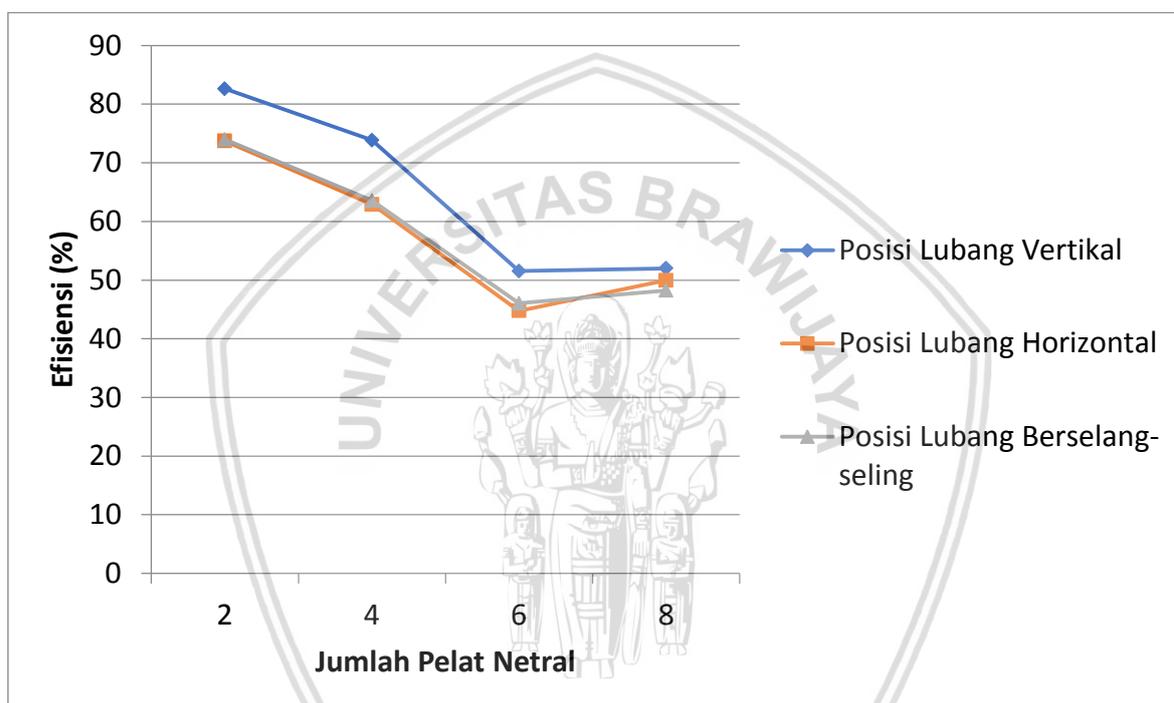
c.

Gambar 4.4 Hubungan antara Jumlah Pelat terhadap Produktifitas Gas HHO pada;
 a. Posisi Lubang Vertikal
 b. Posisi Lubang Horizontal
 c. Posisi Lubang Berselang-seling

Pada Gambar 4.4 dapat disimpulkan bahwa penggunaan 8 pelat netral menghasilkan produktivitas *Brown's gas* yang tertinggi dengan rata-rata nilai laju produktivitas sebesar 0,0245 ltr/s, dan pengurangan jumlah pelat netral berikutnya mengakibatkan penurunan produktivitas *Brown's gas* dan rata-rata laju produktivitas terkecil didapatkan pada variasi 2 pelat netral sebesar 0,0174 ltr/s. Hal tersebut dikarenakan semakin banyaknya jumlah pelat netral maka semakin bertambah luas permukaan reaksi pada generator HHO. Penambahan pelat netral sebanding dengan kenaikan nilai hambatan, yang berdampak kepada besarnya nilai tegangan. Sehingga memperbesar pemacu reaksi elektrolisis.

Nilai tegangan tersebut juga berpengaruh terhadap produktivitas pada variasi susunan posisi pelat. Tegangan pada posisi pelat horizontal dan berselang-seling memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan pada posisi vertikal. Hal tersebut berkaitan dengan nilai hambatan yang dipengaruhi oleh besarnya hambatan yang dipengaruhi oleh besar nilai temperatur. Nilai temperatur berkaitan dengan proses sirkulasi pada generator HHO. Namun tidak terjadi perbedaan yang signifikan terhadap produktivitas pada variasi posisi susunan lubang pada pelat.

4.2.4 Hubungan antara Jumlah Pelat terhadap Efisiensi Generator HHO



Gambar 4.5 Grafik Hubungan antara Penambahan Jumlah Pelat terhadap Efisiensi Generator HHO

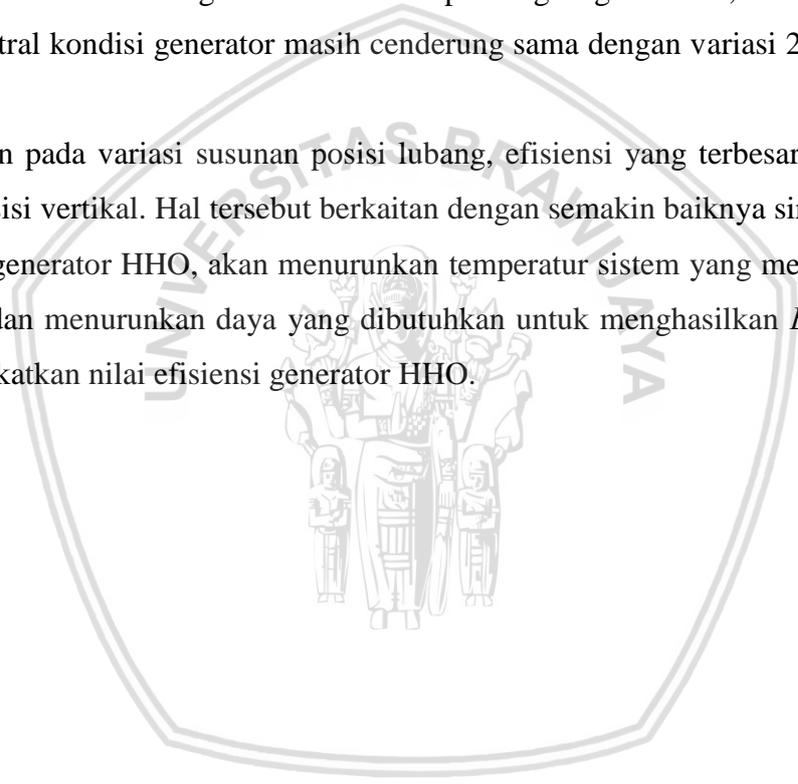
Pada gambar 4.5 menunjukkan nilai efisiensi terhadap penambahan jumlah pelat mengalami penurunan. Nilai efisiensi terbesar terdapat pada variasi 2 pelat netral dengan susunan posisi lubang vertikal sebesar 82,63%, dan efisiensi paling kecil terdapat pada variasi 6 pelat netral dengan susunan posisi lubang berselang-seling. Hal tersebut dipengaruhi oleh besarnya laju produktivitas dan besar daya yang digunakan selama berjalannya reaksi. Berikut ini rumus efisiensi :

$$\eta = \frac{\rho \cdot LHV \cdot Q}{P} \cdot 100\%$$

Dari rumus di atas, nilai ρ dan LHV dianggap konstan karena menggunakan bahan yang sama di setiap pengujian. Sehingga nilai yang mempengaruhi efisiensi adalah besarnya nilai laju produktivitas (Q) dan nilai daya (P) yang dibutuhkan saat reaksi.

Pada Gambar 4.5 dapat diketahui terjadi kecenderungan penurunan nilai efisiensi pada penambahan jumlah pelat. Hal tersebut diakibatkan oleh besarnya tegangan yang dibutuhkan pada penambahan pelat netral karena bertambahnya nilai hambatan. Sehingga nilai pembagi pada rumus cenderung lebih besar, terhadap nilai laju produktivitas (Q) yang perbedaannya tidak terlalu signifikan. Namun terjadi sedikit kenaikan nilai efisiensi pada variasi 8 pelat netral, hal tersebut dapat terjadi karena naiknya nilai tegangan akibat penambahan hambatan memicu generator untuk dapat langsung bereaksi, sedangkan pada variasi 6 pelat netral kondisi generator masih cenderung sama dengan variasi 2 dan 4 pelat netral.

Sedangkan pada variasi susunan posisi lubang, efisiensi yang terbesar didapatkan pada susunan posisi vertikal. Hal tersebut berkaitan dengan semakin baiknya sirkulasi yang terjadi di dalam generator HHO, akan menurunkan temperatur sistem yang mempengaruhi nilai hambatan, dan menurunkan daya yang dibutuhkan untuk menghasilkan *Brown's gas* sehingga meningkatkan nilai efisiensi generator HHO.



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data dan hasil analisis maka dapat ditarik kesimpulan :

1. Penambahan jumlah pelat netral meningkatkan nilai produktivitas. Produktivitas tertinggi didapatkan pada variasi 8 pelat netral dengan posisi susunan lubang horizontal yang mencapai 0,0259 l/s.
2. Penambahan jumlah pelat netral meningkatkan temperatur *output*. Temperatur tertinggi terdapat pada variasi 8 pelat netral dengan susunan posisi lubang vertikal yang mencapai 32.29°C.
3. Semakin banyak penambahan pelat netral akan meningkatkan besarnya nilai daya yang dibutuhkan. Daya terbesar terdapat pada variasi 8 pelat netral dengan susunan posisi lubang berselang-seling yaitu sebesar 336.2 Watt.
4. Susunan posisi lubang vertikal memiliki nilai temperatur *output* dan produktivitas tertinggi, hal tersebut dipengaruhi oleh sirkulasi aliran elektrolit dan hasil reaksi yang baik di dalam generator HHO. Pada susunan posisi horizontal dan berselang-seling cenderung terjebak di dalam generator.
5. Efisiensi terbaik terdapat pada variasi 2 pelat netral dengan susunan posisi lubang vertikal, yaitu sebesar 82,63%.

5.2 Saran

1. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan variasi jumlah lubang input dan output untuk mengoptimalkan sirkulasi pada generator HHO.
2. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan improvisasi terkait penyimpanan produk *Brown's gas* yang awet dan efektif.
3. Pengujian kualitas *Brown's gas* hasil proses elektrolisis untuk data yang lebih valid.
4. Penggunaan *data logger* yang lebih optimal untuk pengambilan data pada setiap parameter.
5. Merekayasa desain generator yang lebih optimal dengan biaya yang terjangkau.

DAFTAR PUSTAKA

- Afif, Muhammad T. 2017. Produksi *Brown's Gas* Pada Elektrolizer Tipe *Dry Cell* Dengan Material Elektroda Berbeda. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Malang : Universitas Brawijaya.
- Arifin, T., B. Rudianto, Y. Susmiati. 2015. Studi Penggunaan Pelat Netral *Stainless Steel* 316 dan Aluminium terhadap Performa Generator HHO *Dry Cell*. *Jurnal Rona Teknik Pertanian*. Vol. 8, No. 2, pp 116-129, ISSN: 2085-2614
- Badan Pusat Statistika. 2012. *Pertumbuhan Konsumsi Energi*. Jakarta: BPS.
- Hendayana, Sumar. 2006. *Kimia Pemisahan untuk Kromatografi dan Elektroforesis Modern*. Bandung: Remaja Rosdakarya Offset.
- Gunawan, Erri. 2012. *Tinjauan Produksi Gas HHO dari 4 Jenis Elektroda Stainless Steel*. Surabaya: Teknik Mesin, FTI, ITS.
- Hidayatulloh, P. 2015. Diskursus Bahan Bakar Air. *SINERGI*. Vol. 19, No. 2, pp 129-138, ISSN: 1410-2331.
- Hidayatullah, Poempida dan Mustari, F. 2008. *Brown Energy Rahasia Bahan Bakar Air*. Jakarta Selatan: Ufuk Press.
- Julianto, Bangun. 2013. *Pengaruh Suhu terhadap Hambatan Rangkaian Listrik*. *Jurnal Fisika UNS*. Vol. 3, No. 2, pp. 102-104, P-ISSN 2088-1509.
- Laksono, Satrio D. 2013. *Pengaruh Variasi Fraksi Massa NaHCO_3 Terhadap Produksi *Brown's Gas* Pada Elektroliser*. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Lestari, Dewi Yuanita. 2012. Pemilihan Katalis yang Ideal. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA*. Yogyakarta: UNY.
- Marlina, Ena. 2013. *Pengaruh Prosentase Katalis NaHCO_3 terhadap Produksi *Brown's Gas* Hasil Elektrolisis*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Prayitno, Yogi E. 2016. *Pengaruh Penambahan Pelat Terhadap Produksi *Brown's Gas* Pada Generator HHO Tipe *Dry Cell**. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Putra, A. M. 2010. Analisis Produktifitas Gas Hidrogen dan Gas Oksigen pada Elektrolisis Larutan KOH. *Jurnal Neutrino*. Vol. 2, No. 2, pp. 141-154.

- Riama, Glory. Veranika, Austrin dan Prasetyowati. 2012. Pengaruh H_2O_2 , Konsentrasi NaOH Dan Waktu Terhadap Derajat Putih Pulp Dari Mahkota Nanas. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol, 18. No. 3. Universitas Sriwijaya.
- Sari, Tria P. 2016. *Pengaruh Ketebalan Pelat E Elektroda Dan FRaksi Massa Katalis Terhadap Produktivitas Brown's Gas Pada Elektrolisis Dry Cell*. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Sebastian, Otto, dan Tulus Burhanuddin Sitorus. 2013. *Analisa Efisiensi Elektrolisis Air Dari Hydrofill Pada Sel Bahan Bakar*. *Jurnal Dinamis*. Vol. II, No.12, ISSN: 0216-7492.
- Sopandi, Ihsan. Hananto, Yuli dan Rudiyanto, Bayu. 2015. Studi Ketebalan Elektroda Pada Produksi Gas HHO (Hidrogen Hidrogen Oksigen) Oleh Generator Hho Tipe Basah Dengan KAtalis $NaHCO_3$ (Natrium Bikarbonat). *Jurnal Rona Teknik Pertanian*. ISSN : 2085-2614.
- Suyuty, Achmad. 2011. *Studi Eksperimen Konfigurasi Komponen Sel Elektrolisis dalam Rangka Peningkatan Performa dan Reduksi Sox-Nox Motor Diesel*. Surabaya: ITS.
- Syaifuddin, Fahmi. 2016. *Performansi Electrolyzer Dry Cell Pada Beberapa Jenis Material Elektroda Dan Jumlah Pelat Netral*. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Todd, D., M. Schwager, W. Merida. 2014. Thermodynamics of High-Temperature, High - Pressure Water Electrolysis. *Journal of Power Sources*. Vol. 269, pp. 424-429,doi:10.1016/j.jpowsour.2014.06.144.
- Utomo, Gatut P dan Wijaya, Rhony M. 2015. Pemanfaatan Elektrolisis Air Sebagai Alternatif Penghemat Bahan Bakar Sepeda Motor Honda 100 cc. *Mekanika Jurnal Teknik Mesin*. Volume 1 No. 1. Fakultas Teknik Unversitas 17 Agustus 1945 Surabaya.
- Widhiyanuriyawan, D., N. Hamidi, Wijono. 2013. Karakteristik Produksi Browns Gas Dengan Menggunakan Tenaga Matahari. *Jurnal Rekayasa Mesin*. Vol. 4, No. 1, pp 79 – 84, ISSN 0216-468X.
- Widhiyanuriyawan, D., Hamidi, Nurkholis., Wijono. 2013. Karakteristik Produksi Brown's Gas Dengan Menggunakan Tenaga Matahari. *Jurnal Rekayasa Mesin*. Vol. 4, No. 1. ISSN 021-468X.

- Widjajanti, Endang. 2005. Pengaruh Katalisator Terhadap Laju Reaksi. *Makalah Pengabdian Masyarakat*.
- Yong, Kyun Lee; Sang Yong Lee; Byung Hwan Jeong; Hyung Soo Mok; Gyu Ha Choe. 2005. Development of a Welding Machine System Using Brown Gas by Improved Water Electrolyzation, *Journal of Power Electronics*, Vol. 5, No. 4.
- Zed, Farida. Dkk. 2014. *Outlook Energi Indonesia 2014*. Jakarta: Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral.

