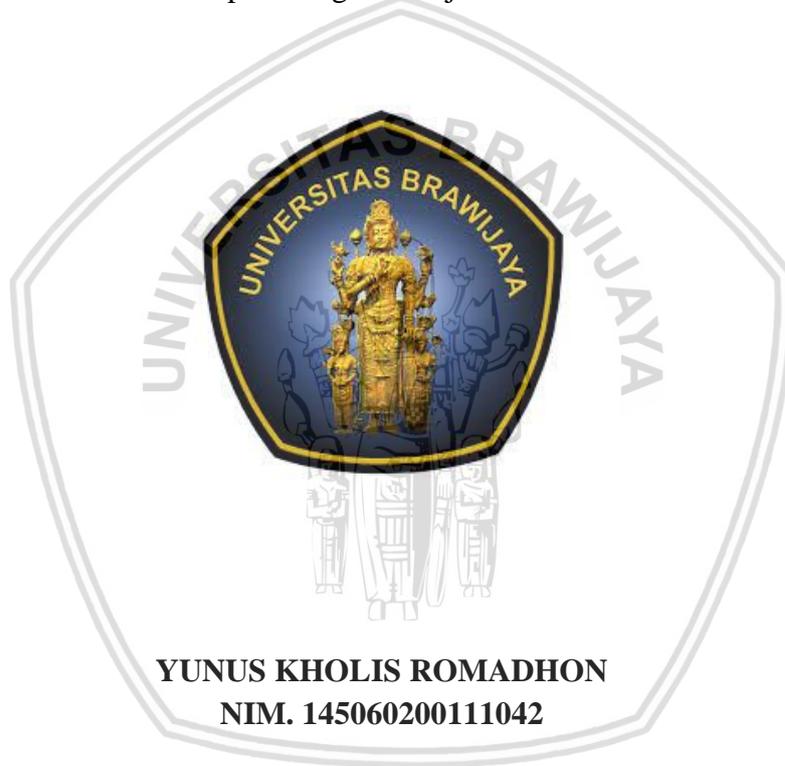


**PENGARUH VARIASI DIAMETER LUBANG DAN BENTUK
PERMUKAAN PADA ELEKTODA TERHADAP PRODUKSI GAS
BROWN TIPE *DRY CELL***

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**YUNUS KHOLIS ROMADHON
NIM. 145060200111042**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2018

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI DIAMETER LUBANG DAN BENTUK PERMUKAAN PADA ELEKTRODA TERHADAP PRODUKSI GAS BROWN TIPE DRY CELL

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik



YUNUS KHOLIS ROMADHON
NIM. 145060200111042

Skrripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing pada tanggal 18 Juli 2018

DOSEN PEMBIMBING I

Dr. Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST., MT.
NIP 19760113 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 DIAMETER LUBANG DAN BENTUK PERMUKAAN PADA ELEKTRODA TERHADAP PRODUKSI GAS BROWN TIPE *DRY CELL*

Nama Mahasiswa : Yunus Kholis Romadhon
NIM : 145060200111042
Program Studi : Teknik Mesin
Minat : Teknik Konversi Energi

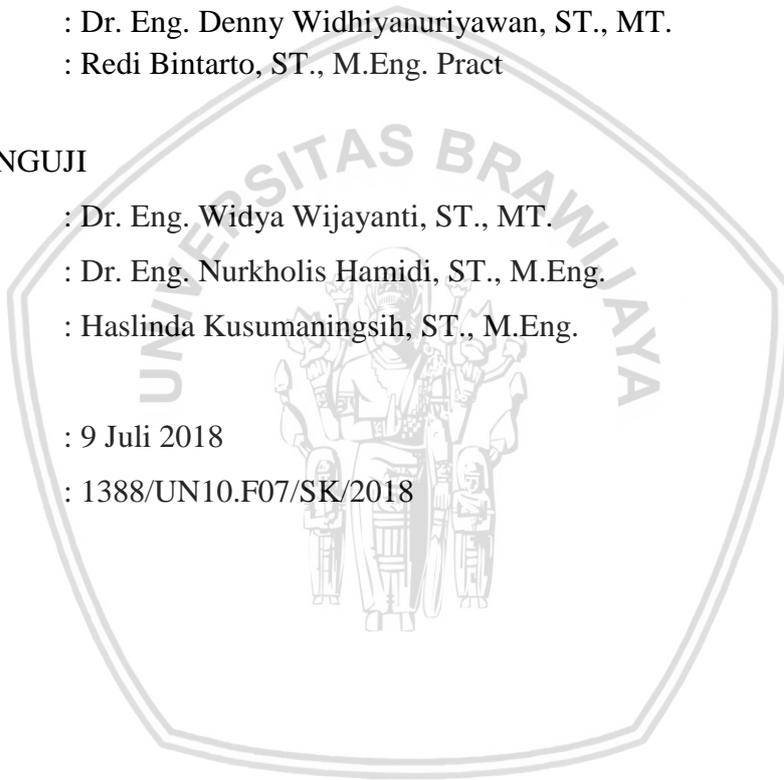
KOMISI PEMBIMBING

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.

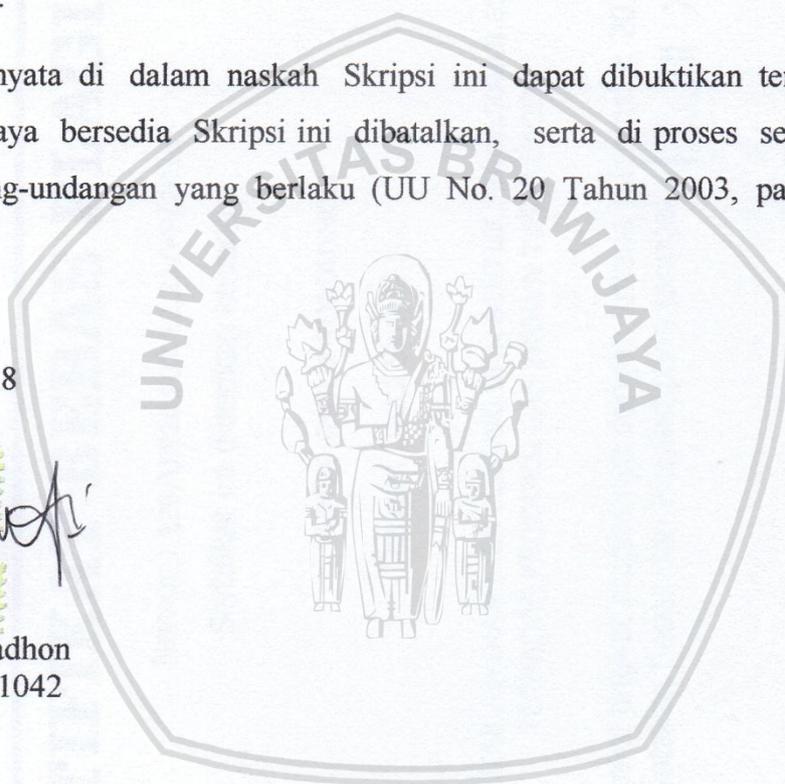
Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi ini dibatalkan, serta di proses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70)

Malang, 20 Juli 2018

Mahasiswa,



Yunus Kholis Romadhon
NIM. 145060200111042





UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 126/UN10.F07.12.21/PP/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

YUNUS KHOLIS ROMADHON

Dengan Judul Skripsi :

**PENGARUH VARIASI DIAMETER LUBANG DAN BENTUK PERMUKAAN ELEKTRODA
TERHADAP PRODUKSI GAS BROWN TIPE DRY CELL**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal **18 JULI 2018**

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D.
NIP. 19670518 199412 1 001

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin


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



*Teriring Ucapan Terimakasih Untuk
Abah, Umi dan Saudara/i tercinta
Atas Dukungan dan Doa Selama Ini*



RINGKASAN

Yunus Kholis Romadhon, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Mei 2018, Pengaruh Variasi Diameter Lubang dan Bentuk Permukaan pada Elektroda Terhadap Produksi Gas Brown Tipe *Dry Cell* , Dosen Pembimbing : Dr.Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST., MT. dan Redi Bintarto, S.T., M.Eng.Pract.

Gas Brown merupakan salah energi alternatif yang didapat dimanfaatkan dan didapat melalui proses elektrolisis air. Elektrolisis air adalah peristiwa penguraian senyawa air (H_2O) menjadi oksigen (O_2) dan gas hidrogen (H_2) dengan menggunakan arus listrik yang dialirkan pada elektroda. Alat yang digunakan untuk memproduksi Brown's gas dengan cara melakukan proses elektrolisis air disebut Generator HHO. Terdapat 2 jenis tipe generator HHO yaitu *wet cell* dan *dry cell*. Salah Satu faktor cepat atau tidaknya reaksi kimia adalah luas kontak antara molekul yang akan bereaksi. Oleh karena itu penelitian ini menggunakan Generator HHO tipe *dry cell* dengan diameter lubang elektroda 5 mm 8 mm, 10 mm, dan 12 mm serta terdapat variasi bentuk yakni persegi, lingkaran, silang dan tanpa bentuk (polos) . Tebal celah elektroda yang digunakan adalah 1.5mm kecuali pada bagian elektroda dan pelat netral menggunakan 3 mm. Arus listrik yang digunakan adalah DC 10 A, volume air pada larutan elektrolit sebesar 2,5 liter, dan persentase fraksi massa katalis NaOH sebesar 1,77% atau 45 gram. Hasil penelitian ini adalah produktivitas brown's gas tertinggi terdapat ada pada lubang elektroda diameter 8 mm dengan bentuk silang dan persegi mencapai 0.0200 l/s. Sementara produksi gas HHO terendah ada pada elektroda polos diameter 12 mm yang hanya mampu produksi sebesar 0.0187 l/s. Efisiensi Generator HHO tertinggi terdapat pada elektroda polos dengan diameter lubang 10 mm yakni mencapai 73,796 % . Sementara efisiensi terendah ada pada bentuk silang dengan diameter lubang 5 mm sebesar 67,82 %.

Kata Kunci: Energi Alternatif, Elektrolisis air, Produksi gas brown, Generator HHO, Diameter Lubang Elektroda, Bentuk Permukaan Elektroda

SUMMARY

Yunus Kholis Romadhon, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, Mei 2018, Material and Gap Electrode Variations on Brown's Gas Production Dry cell Type, Academic Supervisor: Dr.Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST., MT. and Redi Bintarto, S.T., M.Eng.Pract.

Brown gas is one of alternative energy that can be obtained by water electrolysis process. Water electrolysis is the process of water decomposition (H_2O) into oxygen (O_2) and hydrogen gas (H_2) by using the electric current flowed on the electrode. the device used to conduct a water electrolysis process is called an HHO Generator. There are two types of HHO generator types: wet type and dry cell. One of the factors affecting the rate of chemical reaction is the area of contact between the molecules that will react. Therefore, this research uses dry cell HHO generator with variation of electrode's hole dimension which are 5 mm, 8 mm, 10 mm, 12 mm and there are variations of shape which are square-shape, circle-shape, cross-shape and without shape (plain). the size of the electrode gap is 1.5mm except on the electrode and the neutral plate that use 3 mm gap size. The electric current used is DC 10 A, the water volume in the electrolyte solution is 2.5 liters, and the percentage of NaOH catalyst mass mass is 1.77% or 45 gram. The result of the research shows that the highest productivity of brown's gas is found in 8 mm holes diameter with cross-shape and square-shape which are reaching 0.0200 l / s. While the lowest HHO gas production is on a plain-shape with 12 mm holes diameter that only produce 0.0187 l / s. The highest efficiency of HHO Generator is found in plain electrode with 10 mm holes diameter which reach 73,796%. While the lowest efficiency is in the cross-shape with 5mm holes diameter of 67.82%.

Keywords: Alternative Energy, Water Electrolysis, Gas Brown Production, HHO Generator, Diameter of Electrode Hole, Surface Electrode Shape

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan kasih sayangnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi dengan judul “Pengaruh Variasi Diameter Lubang dan Bentuk Permukaan pada Elektroda Terhadap Produksi Gas Brown Tipe *Dry Cell*” ini dengan baik.

Penulis menyadari bahwa dalam 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 dalam menyelesaikan skripsi ini :

1. Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng., Ph.D., selaku Sekertaris 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 Dasar Keahlian Teknik Konversi Energi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
5. Dr.Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST., MT, selaku dosen pembimbing I skripsi yang telah memberikan pengarahan, bimbingan dan motivasi selama penyusunan proses 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. Bayu Satria Wardana, ST., M.Eng., selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan motivasi dan bimbingan terkait akademik selama kuliah di Teknik Mesin.
8. Terimakasih kepada kedua orang tua saya Imam Jauhari dan Diyana Fajriyah yang selalu memotivasi, memberikan kasih sayang, doa, nasehat, dan dukungan moral maupun materil yang diberikan selama ini.
9. Kepada Mbak Sidna, Mbak Inun, Dhiya’, Nibros, Zaim, Naswa, Mas Damas, Mas Bayu dan Taqiyya yang telah memberi semangat dan selalu mau repotkan mengenai kesibukanku.
10. Seluruh Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan yang sangat mendukung selama penyusunan skripsi ini.

11. Seluruh Staf Administrasi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah banyak membantu dalam pengurusan administrasi.
12. Kepada mas-mas dan mbak Laboratorium Tenaga Surya dan Energi Alternatif Mas Thowil, Mas Fahmi, Mas Beni dan Mas Agung yang terus memberikan masukan dan dukungan meski sudah bekerja diluar Malang.
13. Rekan-rekan Asisten Laboratorium Tenaga Surya dan Energi Alternatif Pram, Janitra, Husni, Fakhri, Arif, Fahrijal dan Tari yang sudah membantu dalam pengambilan data skripsi.
14. Teman-teman mesin angkatan 2014 yang selalu memberikan semangat, motivasi, serta seluruh dukungan yang diberikan.
15. Saudara Farhan, Dwiki, Imam dan Falih selaku teman seperjuangan dalam menyelesaikan skripsi yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan permasalahan.
16. Teman-teman KBM Al-Hadiid FT-UB khususnya yang selalu bikin rame meski sedang pusing tentang skripsi.
17. Rekan-rekan Majelis Syuro KBM Al-Hadiid 2017 atas semangatnya meski lebih dahulu lulus tapi selalu mendukung.
18. 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	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
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 Sebelumnya	5
2.2 Air.....	7
2.2.1 Hidrogen.....	7
2.2.2 Oksigen.....	8
2.3 <i>Brown's Gas</i>	9
2.4 Metode Produksi Hidrogen.....	9
2.5 Elektrolisis Air.....	11
2.6 Larutan Elektrolit.....	12
2.6.1 Katalisator.....	12
2.6.2 NaOH.....	13
2.6.3 Fraksi Massa Katalis.....	13
2.7 Generator HHO	14
2.7.1 Tipe Generator HHO	14
2.7.1.1 <i>Dry Cell</i> (Tipe Kering)	14
2.7.1.2 <i>Wet Cell</i> (Tipe Basah)	15
2.7.2 Komponen Penyusun Generator HHO	16
2.7.2.1 Elektroda.....	16

2.7.2.2 Pelat Netral	18
2.7.2.3 Celah Elektroda (Karet O-ring)	18
2.7.2.4 Casing	18
2.7.3 Parameter Kerja Generator HHO	19
2.8 Hipotesa	22
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Metode Penelitian	23
3.2 Tempat dan Waktu Pelaksanaan Penelitian	23
3.3 Variabel Penelitian	23
3.4 Alat dan Bahan Penelitian	24
3.4.1 Alat Penelitian	24
3.4.2 Bahan Penelitian	31
3.5 Instalasi Penelitian	31
3.6 Prosedur Penelitian	32
3.7 Prosedur Pembuatan Generator HHO	32
3.8 Pelaksanaan Penelitian	33
3.9 Diagram Alir Penelitian	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisis Data	37
4.1.1 Contoh Perhitungan Data	37
4.2 Grafik dan Pembahasan	39
4.2.1 Grafik Hubungan Antara Daya Terhadap Diameter Lubang Elektroda	39
4.2.2 Grafik Hubungan Antara Produktivitas Terhadap Diameter Lubang Elektroda	41
4.2.3 Grafik Hubungan Antara Efisiensi Terhadap Diameter Lubang Elektroda	43
4.2.4 Grafik Hubungan Antara Suhu Terhadap Diameter Lubang Elektroda	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	<i>Properties od Hydrogen</i>	8
Tabel 3.1	Kandungan <i>Stainless Steel</i> 304L.....	25
Tabel 4.1	Hasil Pengukuran Generator HHO dengan Diameter Lubang 5 mm dan Bentuk Permukaan 2 Persegi Panjang	37
Tabel 4.2	Hasil Pengukuran Luas Permukaan Masing-Masing Elektroda	40



DAFTAR GAMBAR

No. Gambar	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Ikatan antar molekul air	7
Gambar 2.2	Molekul Hidrogen.....	8
Gambar 2.3	Model atom oksigen.....	9
Gambar 2.4	Elektrolisis air	12
Gambar 2.5	(a) Elektroda generator HHO tipe <i>wet cell</i>	15
	(b) Konstruksi generator HHO tipe <i>wet well</i>	15
Gambar 2.6	Komposisi material <i>stainless steel</i>	16
Gambar 3.1	Komponen penyusun generator HHO.....	24
Gambar 3.2	<i>Assembly</i> bagian-bagian penyusun generator HHO	25
Gambar 3.3	(a) Desain elektroda polos.....	26
	(b) Desain elektroda 2 persegi panjang.....	26
	(c) Desain elektroda lingkaran	26
	(d) Desain elektroda silang	26
Gambar 3.4	Desain pelat netral dan plat sisi.....	26
Gambar 3.5	<i>Power supply</i> dan kabel	27
Gambar 3.6	Tabung ukur volume	28
Gambar 3.7	<i>Digital Multimeter</i>	29
Gambar 3.8	Arduino nano dan sensor suhu	30
Gambar 3.9	Instalasi Penelitian	31
Gambar 4.1	Hubungan antara daya terhadap diameter lubang elektroda.....	39
Gambar 4.2	Desain bentuk permukaan elektroda	40
Gambar 4.3	<i>Losses energy</i> pada pelat elektroda.....	41
Gambar 4.4	Hubungan antara produktivitas terhadap diameter lubang elektroda	41
Gambar 4.5	Terdapat bagian yang tidak terendam larutan elektrolit (bagian atas).....	42
Gambar 4.6	Hubungan antara efisiensi terhadap diameter lubang elektroda.....	43
Gambar 4.7	Terdapat Na^+ pada pelat elektroda.....	43
Gambar 4.8	Bekas pengeleman yang menghalangi proses elektrolisis	44
Gambar 4.9	Grafik hubungan T1 (Suhu elektroda) dan waktu	44
Gambar 4.10	Grafik hubungan T2 (Suhu pelat netral) dan waktu.....	45
Gambar 4.11	Grafik hubungan T3 (Suhu elektrolit keluar) dan waktu.....	46

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Indonesia adalah salah satu negara yang beruntung mempunyai kekayaan sumber daya alam yang cukup besar, baik sumber daya yang tidak dapat terbaharui maupun yang dapat terbaharui. Dalam konteks ini tidak digunakan kata melimpah, karena kata besar itu relatif. Sedangkan, kata melimpah seolah tidak terbatas atau tidak habis-habis. Contohnya, sumber daya batubara Indonesia sebesar 104 M ton dan cadangan 21 M ton. Itu angka yang besar, tetapi dalam tingkat dunia relatif kecil. Berdasarkan data BP *Statistical Review* 2010, cadangan Indonesia hanya 0,5 % dari cadangan dunia. (Kuncoro, 2011)

Salah satu penggunaan batubara adalah pada sektor transportasi, dimana akan menghasilkan emisi yang merugikan. Emisi dari berbagai gas dan partikel ke dalam atmosfer dapat menyebabkan berbagai masalah menurunnya mutu lingkungan. Pada umumnya pertambahan jumlah kendaraan akan mengakibatkan pertambahan juga dalam dampak lingkungan yang negatif. Pertambahan volume lalu lintas juga akan mengakibatkan bertambahnya emisi sehingga dapat dianggap menurunkan kualitas udara. (Morlok, 1995)

Pada Hukum Termodinamika I menyatakan bahwa “Energi merupakan suatu hal yang tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan tetapi energi dapat berubah bentuk dari satu bentuk ke bentuk yang lain atau biasa disebut dengan konversi energi.” Sebagian besar kebutuhan energi sekarang dipenuhi dari sumber energi fosil, selain dampak emisinya kelemahan dari energi fosil adalah cadangannya yang sudah mulai menipis. Oleh karena itu dibutuhkan energi yang ramah lingkungan.

Oleh karena itu diperlukan sumber energi alternatif yang jumlahnya banyak dan *output* dari proses penggunaan energi tidak merusak atau menimbulkan dampak negatif. Salah satu pemanfaatan sumber energi alternatif adalah air. Air memang belum menjadi bahan bakar, namun dengan proses yang dinamakan elektrolisis dapat menghasilkan gas yang dapat dimanfaatkan menjadi bahan bakar. Hasil pemisahan molekul air yang digunakan untuk bahan bakar dan dinamakan gas oksihidrogen, dituliskan sebagai gas HHO atau dikenal dengan nama Gas Brown. Jika diaplikasikan pada kendaraan bermotor, gas HHO digunakan sebagai suplemen bahan bakar untuk kendaraan tersebut. Penambahan

gas HHO pada kendaraan bermotor dapat mengurangi penggunaan bahan bakar mencapai 14,7% pada Toyota Avanza 1.300 cc. (Wahyudzin, 2012)

Gas HHO adalah teknologi untuk menghemat bahan bakar karena berupa elektrolisa H_2O menjadi gas H_2 dan gas O_2 . Yull Brown adalah seorang berkewarganegaraan Australia yang mematenkan hasil elektrolisa dari air menjadi gas H_2 dan gas O_2 yang dapat menggerakkan mesin kendaraan. Gas HHO atau yang disebut *Brown's Gas* merupakan suatu hasil dari elektrolisis air dengan katalis yang menghasilkan hidrogen dan oksigen murni yang memiliki angka oktan tinggi. (Sudarmanta, 2016)

Dalam produksi *Brown's gas* diperlukan sebuah alat yang bernama generator HHO (*Elektroliser*). Didalam generator HHO terdapat larutan elektrolit dan sepasang elektroda yang dialiri listrik guna memecah H_2O menjadi Gas Brown. Generator HHO memiliki 2 tipe yaitu *dry cell* dan *wet cell*. Pada penelitian ini digunakan generator HHO *dry cell* (tipe kering). (Sari dkk, 2016)

Generator tipe kering (*dry cell*) dimana elektroda dilalui larutan elektrolit atau tidak tercelup dengan larutan. Generator ini menjadi pilihan yang menarik karena menurut Arifin dkk (2015) yang diteliti tentang pengaruh penggunaan plat netral *Stainless Steel* 316 dan alumunium terhadap peforma generator HHO tipe kering. Hasilnya menunjukkan bahwa pelat *Stainless Steel* 316 dapat dijadikan pilihan karena dapat meminimalisir presentase *losses energy*. Hal ini juga senada juga didapatkan pada penelitian Afif dkk (2017) dengan menggunakan variasi pelat elektroda adalah tembaga, kuningan, alumunium dan *stainless steel* dengan tebal celah 1.5, 1.8, 2 dan 3 mm didapatkan produktivitas *Brown's Gas* tertinggi dengan material *stainless steel* dengan celah elektroda 1.5 mm sebesar 0.0212622 l/s serta efisiensi tertinggi juga pada pelat *stainless steel* dan celah 1.5 mm mencapai persentase 62.50%. Sementara yang terendah ada pada alumunium.

Dari uraian diatas masih perlu banyak lagi pengembangan untuk mencapai efisiensi dan produktivitas brown gas tertinggi. Berdasarkan penelitian sebelumnya material yang *recommended* adalah *stainless steel* dengan menggunakan pelat netral dan pelat sisi. Pada penelitian kali ini akan mencari hal yang lain yakni tentang variasi lubang dan bentuk elektroda diharapkan didapatkan data yang diperoleh lebih baik dalam segi efisiensi dan produktivitasnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dapat dirumuskan suatu permasalahan yaitu bagaimana pengaruh diameter lubang dan bentuk elektroda terhadap produksi *Brown's Gas* pada Generator HHO tipe *dry cell*.

1.3 Batasan Masalah

Untuk menjawab rumusan masalah diatas dan menghindari agar permasalahan tidak meluas, maka dalam penelitian ini perlu diberikan batasan-batasan yaitu sebagai berikut:

1. Elektrolit yang digunakan adalah larutan Natrium Hidroksida (NaOH) 1,77%
2. Elektroda, pelat netral dan pelat sisi yang digunakan terbuat dari *Stainless Steel 304L*
3. Semua pelat diasumsikan tidak korosi dan tidak cacat.
4. Air yang dipakai air sumur dianggap sebagai H_2O .

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh lubang elektroda dan bentuk pelat elektroda terhadap produksi *Brown's Gas* pada generator HHO tipe *dry cell*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memiliki manfaat sebagai berikut :

1. Menjadi referensi dan bahan kajian ilmu pengetahuan yang berkelanjutan terutama bagi mahasiswa teknik tentang gas HHO.
2. Sebagai masukan bagi masyarakat luas untuk memanfaatkan bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan yaitu gas HHO.
3. Menghemat penggunaan sumber energi minyak fosil dengan memanfaatkan atau menambahkan gas HHO sebagai energi alternatif baru.
4. Menambah ilmu pengetahuan dan pemahaman mengenai *Brown's Gas* untuk meningkatkan efisiensi dalam produksinya.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya mengenai *elektrolizer* untuk menghasilkan gas HHO telah banyak dilakukan. Penamaan Gas HHO atau Brown Gas didasari pada penemunya yaitu Yull Brown (1974) berkebangsaan Australia, dalam penelitiannya Yull Brown melakukan elektrolisa air murni sehingga menghasilkan gas HHO yang dinamainya *Brown's Gas* dan dipatenkan olehnya.

Pada penelitian Sari dkk (2016), dengan variasi persentasi katalis NaHCO_3 yaitu 0.69% , 1.38% , 1.77% , 2.15% dan tebal pelat elektroda sebesar 0.3 mm, 1 mm , 1.2 mm , 1.5 mm. Dari hasil penelitian tersebut didapat laju produksi gas HHO dan efisiensi generator HHO akan semakin meningkat seiring dengan penambahan persentase katalisnya dengan titik maksimum persentasi katalis 1.77% dan dengan tebal pelat elektroda 0.3 mm. Dengan persentase katalis 1.77% dan tebal pelat elektroda 0.3 mm didapat kan efisiensi 22,404% dan laju produksi gas HHO didapatkan 0.01471 l/s.

Yilmaz dkk (2010) yang meneliti variasi pemakaian katalis NaOH, KOH dan NaCl untuk mendapatkan produksi Brown's gas terbesar. Brown's gas tersebut akan ditambah pada bahan bakar untuk motor bakar untuk dilihat pengaruhnya. Dari penelitiannya didapatkan kesimpulan penggunaan katalis NaOH merupakan efisiensi paling tinggi pada generator HHO. Dengan menggunakan NaOH pemakaian listrik yang dibutuhkan generator HHO paling rendah dibandingkan dengan katalis lain.

Pada Generator HHO tipe *Dry Cell* dengan adanya penambahan pelat netral akan menurunkan arus yang digunakan dalam setiap *cell* dimana perhitungan arus yang digunakan merupakan pembagian arus yang masuk dengan jumlah *cell* yang ada di rangkaian seri. Namun perhitungan ini tidak berlaku pada *cell* dengan rangkaian paralel. (Hidayatulloh, 2015)

Penelitian Todd (2014) menyatakan bahwa suhu atau temperatur merupakan salah satu faktor yang paling berpengaruh terhadap proses elektrolisis terutama terhadap efisiensinya. Semakin tinggi suhu elektrolisis, maka energi listrik yang diperlukan semakin berkurang. Hal ini bisa dijelaskan pada karakteristik termodinamika dari molekul air bahwa reaksi pemisahan molekul semakin meningkat saat temperatur meningkat pula.

Prayitno dkk (2016) dalam penelitiannya tentang pengaruh penambahan pelat terhadap produksi *brown's gas* pada elektroliser tipe *dry cell*. Hasil penelitian menunjukkan produktivitas *brown's gas* cenderung konstan setiap pertambahan waktu, dan didapat konfigurasi pelat netral 4 buah pada Generator HHO dengan masing masing sisi elektroda diberi 2 buah pelat merupakan konfigurasi yang menghasilkan produktivitas terbesar mencapai 0,015 l/s.

Afif dkk (2017) pada penelitiannya menggunakan variasi pelat elektroda adalah Tembaga, Kuningan, Alumunium dan *Stainless Steel* dengan tebal celah 1.5, 1.8, 2 dan 3 mm didapatkan produktivitas *Brown's Gas* tertinggi dengan material *Stainless Steel* dengan celah elektroda 1.5 mm sebesar 0.0212622 l/s serta efisiensi tertinggi juga pada pelat *Stainless Steel* dan celah 1.5 mm mencapai 62.50%. Sementara terendah ada pada alumunium yang memiliki produktivitas sebesar 0.012622L/s dengan tebal celah elektroda 3 mm dan efisiensi terendah didapat pada material alumunium dengan tebal celah elektroda 3mm sebesar 17.33%.

Menurut penelitian Syaifuddin dkk (2017) mendapatkan hasil bahwa tipe *electrolyzer dry cell* dengan produktivitas *brown's gas* paling stabil adalah *electrolyzer* tipe C (2 pelat sisi) dengan 4 pelat netral dengan produktivitas 0,69 l dengan temperature setelah reaksi paling rendah diantara tipe lain dan efisiensi kerja *electrolyzer* paling besar dengan produktivitas stabil dihasilkan oleh *electrolyzer* tipe C (2 pelat sisi) pada jumlah pelat netral 4 sebesar 64,26%. Penggunaan pelat sisi dapat mengurangi konsumsi daya sehingga menghasilkan efisiensi yang tinggi.

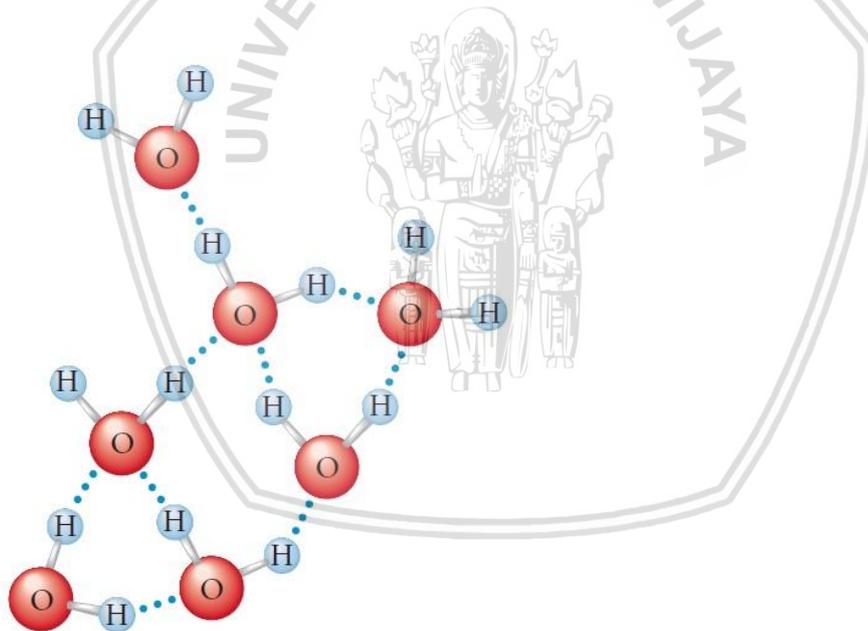
Untuk meningkatkan performa generator HHO pada penelitian Arifin dkk (2015) tentang penggunaan pelat netral *Stainless steel* 316 dan Alumunium terhadap performa Generator HHO tipe *Dry Cell*. Hasil penelitiannya menunjukkan untuk pelat netral alumunium dapat meningkatkan nilai performa generator HHO sedangkan untuk pelat netral *Stainless steel* 316 dapat meminimalisis presentase *losses energy*. Karakteristik sifat dari pelat elektroda netral akan mempengaruhi performa generator HHO karena bahan konduktor penghantar listrik berpengaruh oleh sifat konduktifitas thermal dan korosifitasnya.

Fahrudin (2015) HHO merupakan gas hasil elektrolisa air yang dapat digunakan sebagai bahan bakar tambahan pada motor bakar. Penelitian ini bertujuan mengetahui karakteristik generator HHO menggunakan elektroda pelat berlubang. Elektroda yang dipakai berupa pelat aluminium dengan ukuran 60 x 60 x 0.5 mm³ dengan variasi tanpa lubang, 4 lubang, 6 lubang, dan 9 lubang. Masing-masing lubang berdiameter 4 mm.

Variasi tegangan input 3,5; 6; 7,5; 9 Volt. Karakteristik yang diuji meliputi daya input, debit, dan efisiensi generator HHO. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah bahwa debit gas HHO yang terbesar dihasilkan dengan elektroda 9 lubang yaitu sebesar 5,77 cc/min dengan daya input 4,59 Watt. Sedangkan efisiensi generator tertinggi juga dihasilkan dengan elektroda 9 lubang yang mampu mencapai efisiensi 63,16 % dengan daya input 0,52 Watt.

2.2 Air

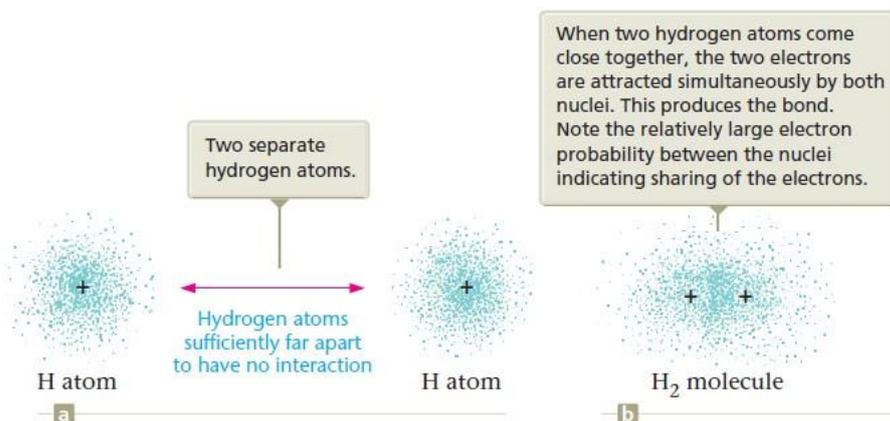
Air adalah senyawa kimia yang mempunyai rumus H_2O dimana dalam satu molekul air terdapat 2 atom hidrogen dan 1 atom oksigen. Air merupakan cairan tidak berbau, tidak berwarna dan tidak berasa. Air bersifat polar yaitu pelarut yang baik untuk bermacam-macam zat, molekul air terikat oleh ikatan hidrogen satu sama lain, pada kondisi standar yaitu pada tekanan 100 kPa atau 1 bar mempunyai titik beku 273,15 K setara $0\text{ }^{\circ}C$ dan titik didih 373,15 K atau setara dengan $100\text{ }^{\circ}C$. (Wijayakusuma, 2009)



Gambar 2.1 Ikatan antar molekul air
Sumber : Zumdahl (2010)

2.2.1 Hidrogen

Hidrogen adalah unsur paling melimpah di alam semesta ini. Pada tabel periodik memiliki simbol H dan nomor atom 1. Dengan suhu dan tekanan normal hydrogen tidak berwarna, tidak berbau, bervalensi tunggal, gas diatomik yang mudah terbakar dan non logam.



Gambar 2.2 Molekul hidrogen
 Sumber : Zumdahl (2010)

Sifat-sifat kimia dan fisik dari hydrogen dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

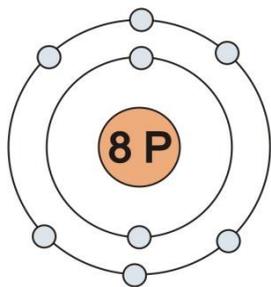
Tabel 2.1
 Properties of Hydrogen

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

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

2.2.2 Oksigen

Oksigen mempunyai lambang O dan nomor atom 8 pada tabel periodik. Oksigen sangat mudah bereaksi dengan unsur lain menjadi oksida. Oksigen memiliki sifat fisik berat atom dua dan berikatan menjadi gas oksigen dengan sifat tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau. Oksigen merupakan unsur melimpah di urutan ketiga (Emsley, 2001).



Gambar 2.3 Model atom oksigen
Sumber: Brady (1999)

2.3 *Brown's gas*

Gas HHO atau Brown gas adalah gas hasil dari proses pemecahan air murni (H_2O) dengan proses elektrolisis. Gas yang dihasilkan dari proses elektrolisis air tersebut adalah gas Hidrogen dan Oksigen, dengan komposisi 2 Hidrogen dan 1 Oksigen (gas HHO). Proses Elektrolisis adalah suatu proses untuk memisahkan senyawa kimia menjadi unsur-unsurnya dengan memberikan arus listrik pada elektrodanya. Pada proses elektrolisis air, gas hidrogen akan tertarik ke elektroda negatif (katoda) dan gas oksigen akan tertarik ke elektroda positif (anoda). (Fahrudin, 2015)

Brown's gas pertama kali ditemukan oleh Yull Brown (1974) berasal dari molekul diatomik Hidrogen (H_2) dan molekul diatomik Oksigen (O_2). *Brown's gas* (gas HHO) memiliki karakteristik baik dari segi ekonomi, efisiensi energi, dan ramah lingkungan dibandingkan dengan gas *acetylene* dan *Liquid Petroleum Gas (LPG)* saat diaplikasikan pada mesin las. Secara keseluruhan ketika dibakar gas HHO (*brown's gas*) lebih aman daripada gas *acetylene* dan *Liquid Petroleum Gas (LPG)* dalam penggunaan untuk mesin las. (Yong et.al.,2005)

2.4 Metode Produksi Hidrogen

Pada dasarnya, gas hidrogen dapat diproduksi dengan beberapa cara, diantaranya steam reforming, termokimia siklus sulfur-iodine dan elektrolisis (Alimah, 2008). Selain itu terdapat metode lain juga seperti Gasifikasi Biomassa dan PEC (Photoelectrochemical). Metode yang sekarang paling banyak digunakan adalah *steam reforming* yaitu dengan memurnikan bahan bakar fosil menjadi bahan bakar hidrogen. Berikut ini adalah beberapa metode untuk mendapatkan hidrogen yang sering dipakai :

1. *Steam reforming*

Steam Reforming merupakan sebuah proses dekomposisi termal yang paling banyak digunakan industri pada proses produksi hidrogen. Proses tersebut

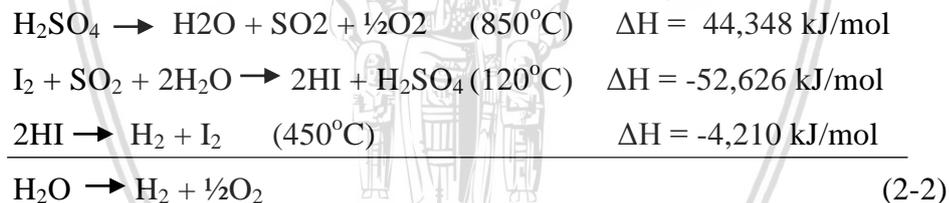
dilakukan dengan mereaksikan gas alam (metana, propana atau etana) dan direaksikan dengan steam pada suhu tinggi dengan bantuan katalis untuk menghasilkan hidrogen, karbon dioksida (CO₂) dan karbon monoksida (CO). Gas alam adalah bahan bakar fosil berbentuk gas yang terutama terdiri dari metana (CH₄) yang merupakan molekul hidrokarbon rantai pendek serta ringan. Gas alam juga mengandung molekul-molekul hidrokarbon lain yang lebih berat seperti etana (C₂H₆), propane (C₃H₈) dan butana (C₄H₁₀) (Alimah dkk, 2008).

Persamaan reaksi yang terjadi di proses ini adalah :



2. Thermochemical (Siklus sulfur - iodine)

Siklus sulfur-iodine (S-I) merupakan sebuah proses untuk memproduksi hidrogen secara termokimia dengan cara memisahkan air menjadi hidrogen dan oksigen melalui reaksi kimia menggunakan suhu tinggi. Proses tersebut, mempunyai kelebihan yaitu memproduksi hidrogen dengan efisien dengan tidak mengemisikan gas CO₂. (Alimah dkk, 2008) Proses ini terdiri dari tiga reaksi kimia, dan akan menghasilkan H₂ dan oksigen seperti persamaan dibawah ini:



3. Gasifikasi Biomassa

Gasifikasi Biomassa yaitu produksi hidrogen yang menggunakan panas, uap dan oksigen untuk mengubah biomassa menjadi hidrogen dan produk lain. Biomassa adalah sumber energi terbarukan yang berasal dari bahan baku ramah lingkungan (organik) dimana termasuk sisa hasil pertanian seperti tongkol jagung dan jerami, sampah organik, dan limbah hewan (*animal wastes*). (Sari dkk, 2016).

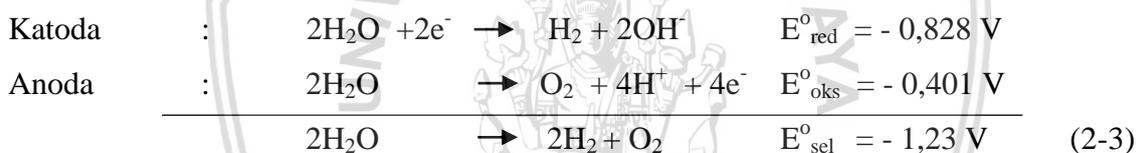
4. Elektrolisis Air

Elektrolisis air merupakan proses pemecahan molekul air (H₂O) menjadi atom penyusunnya yaitu atom hidrogen (H₂) dan atom oksigen (O₂) dengan menggunakan energi listrik. Gas hidrogen akan muncul pada kutub negatif atau katoda sedangkan gas oksigen berkumpul pada kutub positif atau anoda. Proses ini akan digunakan dalam penelitian ini dan akan dibahas lebih lanjut dalam penelitian ini.

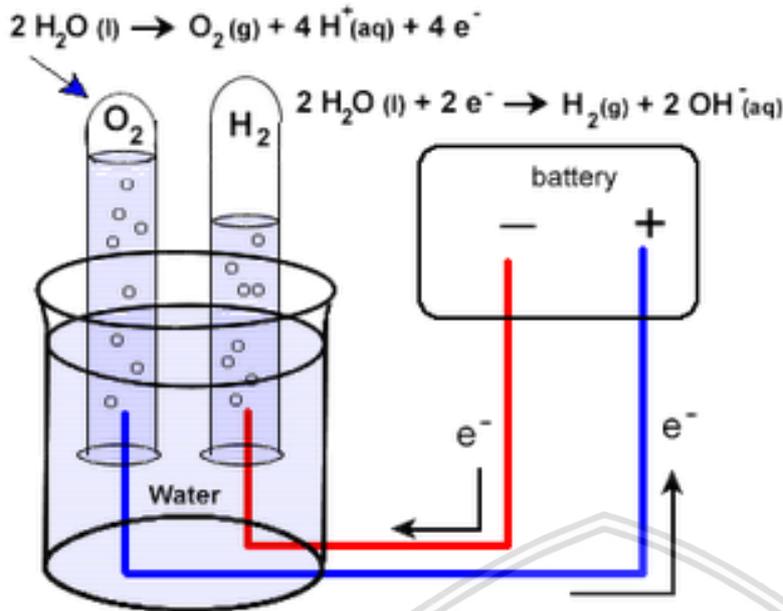
2.5 Elektrolisis Air

Elektrolisis merupakan perubahan kimia, atau reaksi dekomposisi dalam suatu elektrolit oleh arus listrik. Elektrolit larut dalam pelarut polar (misalnya air) menjadi ion-ion positif (kation-kation) dan ion-ion negatif (anion-anion). Ion negatif disebut anion karena melalui larutan tertarik ke muatan positif, sedangkan ion positif disebut katoda karena melalui larutan akan bergerak menuju muatan negatif. Molekul polar (air) memiliki muatan di ujung molekulnya, yakni muatan positif dan negatif. Muatan ini mampu bereaksi dengan muatan pada molekul polar lain untuk melarutkannya.. Penambahan zat elektrolit, misalnya asam, basa atau garam dapat meningkatkan konduktivitas air sehingga pada proses elektrolisis air menjadi lebih cepat. Pada sel elektrolisis terjadi perubahan energi listrik menjadi energi kimia. Hubungan antara jumlah muatan listrik yang digunakan dan jumlah zat yang terlibat dalam reaksi telah dirumuskan dalam Hukum Faraday. Hal ini dapat terjadi karena melibatkan reaksi reduksi-oksidasi yang mengandalkan peran partikel bermuatan untuk penghantar muatan listrik. (Supiah, 2010)

Persamaan reaksi elektrolisis dapat dilihat dibawah ini:



Reaksi elektrolisis adalah reaksi redoks tidak spontan, reaksi itu dapat berlangsung karena pengaruh dari energi listrik. Reaksi elektrolisis tidak dapat berlangsung jika tidak diberikan sumber energi dapat berupa energi listrik yang mengalir dari luar dengan E_{sel}° bernilai negatif. Dalam sel volta/galvani, reaksi redoks berlangsung secara spontan, dan energi kimia pada saat reaksi kimia diubah menjadi energi listrik. Sedangkan elektrolisis adalah reaksi kebalikan dari sel volta/galvani yang potensial selnya negatif atau dengan kata lain, dalam keadaan normal tidak akan terjadi reaksi dan reaksi dapat terjadi bila diinduksi dengan energi listrik. Pada proses elektrolisis berlangsung energi listrik yang diberikan akan dikonversi menjadi energi kimia. Proses ini ditemukan oleh Faraday pada tahun 1820. Pada gambar 2.4 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. Pergerakan elektron pada proses elektrolisis dapat dilihat pada gambar ini:



Gambar 2.4 Elektrolisis air
Sumber : Takeuchi (2011)

2.6 Larutan Elektrolit

Elektrolit merupakan larutan yang dapat digunakan untuk menghasilkan gas HHO pada proses elektrolisis. Didalam elektrolit terdapat air murni atau air destilasi dan katalis. Dalam proses elektrolisis air, larutan elektrolit berfungsi sebagai konduktor listrik yang berguna pada proses pemecahan H_2O menjadi Brown's gas. Pada penelitian ini menggunakan larutan campuran air Sumur dan NaOH. Air sumur digunakan karena relatif mudah didapatkan dan gratis. (Sari dkk, 2016)

2.6.1 Katalisator

Katalisator adalah suatu zat yang ditambahkan ke sistem yang akan direaksikan untuk mempercepat reaksi didalamnya. Katalisator memiliki fungsi yang penting, oleh karena itu penggunaan katalis menjadi kebutuhan yang sangat penting dalam berbagai bidang, terutama bidang industri. Kebutuhan akan penggunaan katalis dalam berbagai proses industri cenderung mengalami peningkatan dikarenakan proses kimia dengan penggunaan katalis lebih ekonomis dibanding tanpa penggunaan katalis (Lestari, 2012).

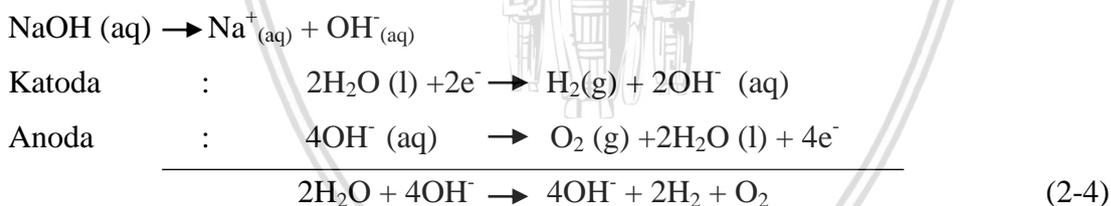
Ada 2 jenis katalis, yakni katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis homogen adalah katalis yang berada satu fase dengan reaktannya. Sedangkan katalis heterogen adalah katalis yang berbeda fase dengan reaktannya (biasanya berupa zat padat). Pada penelitian ini menggunakan katalis homogen yakni NaOH (Natrium Hidroksida).

2.6.2 NaOH (Natrium Hidroksida)

NaOH adalah zat kimia yang bersifat basa kuat. Dalam perdagangan lebih dikenal dengan nama *caustic soda* yang berupa padatan (kristal) berwarna putih. Selain dikenal dengan nama *caustic soda*, NaOH dikenal juga sebagai soda api, natronloog, kostik putih, atau sodium hidrat. Adapun sifat-sifat dari NaOH antara lain :

1. Merupakan kristal putih yang mudah mencair atau larut. NaOH dapat larut dalam air, alkohol dan gliserol.
2. Bersifat korosif terutama pada jaringan mata, kulit, dan selaput pernafasan. Oleh karena itu uap NaOH yang diijinkan pada di udara hanya sebanyak 2 mg tiap meter kubik udara.
3. Pada suhu yang tinggi akan menguap, dan apabila suhu yang sangat tinggi terpisah menjadi logam Na, zat pembakar dan zat cair.
4. Titik didihnya 318°C, berat jenisnya 2,13, titik bekunya 5°C - 11°C, dan titik lelehnya 97,8 °C.
5. Tekanan uapnya 1 mm Hg dan pH larutan basa kuat.

Larutan NaOH merupakan larutan elektrolit kuat (basa kuat), larutan elektrolit kuat merupakan penghantar listrik yang baik dan proses elektrolis akan berlangsung cepat. Pada persamaan (2-4) merupakan reaksi elektrolisis larutan NaOH:



Dapat dilihat dari persamaan diatas bahwa unsur Na^+ akan bereaksi pada katoda namun yang bereaksi adalah air karena potensial Na^+ lebih rendah dibanding air. Na^+ cenderung akan diam atau menempel pada elektroda.

2.6.3 Fraksi Massa Katalis

Fraksi massa katalis adalah rasio perbandingan antara massa zat terlarut dengan massa zat total larutan (massa pelarut + massa terlarut). Pada penelitian ini digunakan katalis NaOH sebagai zat yang terlarut. Sedangkan zat pelarut yang digunakan yaitu air. Fraksi massa katalis dapat dihitung pada persamaan (2-5) berikut ini (Sari dkk, 2016).

$$\% = \frac{\text{massa katalis (gr)}}{(\text{massa larutan (gr)})} \times 100\% \quad (2-5)$$

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

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

$$\% = \frac{45\text{gr}}{(2500+45)\text{gr}} \times 100\% \quad (2-6)$$

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

2.7 Generator HHO

Generator HHO atau *electrolyzer* adalah tempat berlangsungnya proses elektrolisis air yang terdapat elektroda (katode dan anode) sebagai tempat reaksi dan larutan elektrolit sebagai perantara dan sumber reaksi. Pada generator terjadi reaksi pemisahan *hydrogen* dan *oxygen* 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 sumber listrik akibat terlepasnya elektron tersebut. Dua buah ion OH^- terurai membentuk air dan terbentuk gelembung oksigen. Gelembung-gelembung yang muncul dari elektroda merupakan gas H_2 yang timbul dalam katoda dan gas O_2 yang timbul pada anoda hasil dari proses elektrolisis. (Syaifuddin, 2017)

Saat ini ada 2 jenis elektroliser (*Brown's Gas*) yaitu tipe basah (*Wet Cell*) dan tipe kering (*Dry Cell*). Tipe basah adalah elektroliser dimana katodanya terendam elektrolit di sebuah bejana air, sedangkan tipe kering adalah elektroliser dimana elektrodanya tidak terendam dalam elektrolit dan elektrolit hanya mengisi celah-celah antara elektroda itu sendiri (Gunawan, 2012). Pada penelitian ini menggunakan generator tipe kering atau *dry cell*.

2.7.1 Tipe Generator HHO

2.7.1.1 Dry Cell (Tipe Kering)

Generator HHO tipe kering (*Dry Cell*) adalah generator HHO yang elektrodanya tidak terendam penuh dalam larutan elektrolit hanya mengisi celah-celah antara elektroda itu sendiri. Keuntungan Generator HHO tipe *dry cell* adalah :



2.7.2 Komponen Penyusun Generator HHO

2.7.2.1 Elektroda

Elektroda yang digunakan pada elektrolisis berupa katoda dan anoda. Katoda didefinisikan sebagai elektroda negatif dimana sumber arus menuju katoda (butuh elektron) dan terjadi reduksi. Sedangkan anoda didefinisikan sebagai elektroda positif dimana menarik anion-anion dari sel elektrolisa dan terjadi proses oksidasi. Elektroda ini apabila dialiri listrik akan menyebabkan elektron bergerak bebas dengan arah sejajar dan berlawanan dengan arah medan listrik.

Salah satu material untuk elektroda yang masuk rekomendasi adalah *Stainless Steel* (baja anti karat). *Stainless Steel* (SS) adalah 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 kromium 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. Pada penelitian ini menggunakan *stainless steel* 304L dikarenakan hal tersebut.

Chemical Composition of Austenitic Stainless Steels

AISI type	Nominal composition (%)					
	C max.	Mn max.	Si max.	Cr	Ni	Others ^a
201	0.15	7.5 ^b	1.00	16.00–18.00	3.50–5.50	0.25 max. N
202	0.15	10.00 ^b	1.00	17.00–19.00	4.00–6.00	0.25 max. N
205	0.25	15.50 ^b	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 ^b	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	
316	0.08	2.00	1.50	16.00–18.00	10.00–13.00	

Gambar 2.6 Komposisi material *stainless steel*
Sumber: Metallic materials, Schweitzer (2006)

Menurut Achmad (1992) menyatakan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi laju reaksi pada permukaan elektroda diantaranya :

1. Keadaan pereaksi dan luas permukaan

Sebagai contoh jika dibandingkan dengan pita magnesium, serbuk magnesium lebih cepat bereaksi dengan asam sulfat encer. Pada umumnya makin kecil partikel pereaksi makin besar permukaan pereaksi yang bersentuhan dalam reaksi, sehingga reaksi akan semakin cepat. Dalam sistem heterogen yaitu dengan pereaksi berbeda wujudnya, luas permukaan sentuhan antar pereaksi sangat menentukan laju reaksi. Dalam sistem homogen luas permukaan tidak mempengaruhi laju reaksi.

2. Konsentrasi

Makin besar konsentrasi makin cepat laju meskipun tidak selalu demikian. Pereaksi yang berbeda, konsentrasinya dapat mempengaruhi laju reaksi tertentu dengan cara yang berbeda. Menaikkan konsentrasi berarti menaikkan jumlah molekul per satuan volum, sehingga kemungkinan terjadinya tumbukan antara molekul-molekul akan bertambah besar pula. Jadi dapat dikatakan bahwa kenaikan konsentrasi pereaksi akan memperbesar kecepatan reaksi.

3. Suhu

Pada umumnya jika suhu dinaikkan laju reaksi bertambah, namun pada kondisi tertentu tidak selalu naik.

4. Cahaya

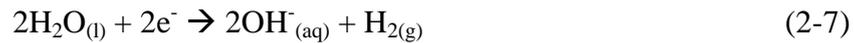
Sebagai contoh adalah pada proses fotosintesis pada tumbuhan berklorofil.

Baik buruknya reaksi sangat ditentukan dengan karakteristik elektrodanya. Menurut Atkins (1999) jika elektroda bersifat heterogen termasuk proses elektrolisis ini, yang dihasilkan persatuan luas elektroda, persatuan waktu. Salah satu faktor terpenting adalah luasan elektroda yang bereaksi.

Sementara itu pada elektroda terdapat 2 reaksi. Reaksi yang ada pada elektroda sebagai berikut:

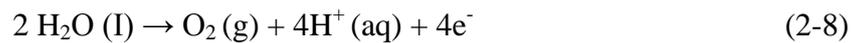
1. Reaksi Pada Katoda

Reaksi yang terjadi di katoda adalah reduksi. Reaksi pada katoda berpengaruh dari jenis kation yang ada pada larutan. Apabila kationnya berasal dari logam – logam aktif (golongan IA, IIA, Al atau Mn) dimana potensial elektrodanya lebih kecil daripada air, maka yang tereduksi adalah air. Ion-ion bermuatan positif atau kation bergerak dari anoda menuju 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 dan OH^- . Reaksi pada katoda :



2. Reaksi Pada Anoda

Reaksi yang terjadi pada anoda proses elektrolisis adalah oksidasi. Ion-ion bermuatan negatif atau anion bergerak 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 :



2.7.2.2 Pelat Netral

Pelat netral adalah pelat yang terletak diantara pelat katoda (negatif) dan pelat anoda (positif) dengan jarak yang sudah ditentukan. Pelat ini pada umumnya diaplikasikan pada Generator HHO tipe *dry cell*, ukurannya sama besar dengan ukuran dari elektroda namun pelat netral tidak disambungkan dengan arus listrik. Keuntungan dengan penambahan pelat netral tersebut adalah semakin banyaknya luasan area elektrolisis untuk menghasilkan gas brown dan selain itu reaksinya akan lebih stabil (Nugraha, 2016). Pada penelitian kali ini menggunakan 4 pelat netral.

2.7.2.3 Celah Elektroda (Karet O-ring)

Dalam penelitian ini celah antar elektroda dan pelat netral menggunakan karet O-ring, yang berfungsi sebagai pembatas dan pemberi jarak tertentu dari satu pelat dengan pelat yang lain. Luasan area tercelup yang merupakan area terjadinya proses elektrolisis dapat ditentukan sesuai dengan luas permukaan karet o-ring yang dipakai pada konstruksi Generator HHO. Hal ini dikarenakan luasan area tercelup pada Generator HHO tipe *dry cell* tidak keseluruhan dari luas permukaan pelat yang digunakan. Karet O-ring mudah ditemukan dipasaran dengan tebal dan luasan permukaan sesuai diinginkan.

2.7.2.4 Casing

Casing pada Generator HHO memiliki berfungsi sebagai penggabungan pelat netral, pelat elektroda, dan sekat. *Casing* biasanya terbuat dari bahan transparan agar peneliti dapat mengamati reaksi yang terjadi dan juga bahan yang digunakan harus mampu menahan panas saat proses elektrolisis air berlangsung dan kali ini menggunakan akrilik bening.

2.7.3 Parameter Kerja Generator HHO

1. Daya Generator HHO

Elektrolisis air adalah proses kimia yang mengubah energi listrik menjadi energi kimia. Proses elektrolisis air memerlukan sumber energi listrik searah (DC) 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 memakai inverter.

Untuk mendapatkan nilai efisiensi yang tinggi 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 (2-14) berikut (Bueche, 1985).

$$P = V \cdot I \quad [Watt] \quad (2-14)$$

Ket :

P = Daya yang dibutuhkan generator HHO (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Kuat arus listrik (Ampere)

Pada persamaan (2-14) dapat disimpulkan bahwa semakin besar tegangan atau semakin besar kuat arus listrik yang dipakai 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 *dry cell* akan menghasilkan *Brown's gas* atau gas HHO. Sehingga diperlukan untuk mengetahui laju produksi *Brown's gas* yang dihasilkan, untuk mengetahui seberapa bagus kinerja dari generator tersebut. Semakin tinggi laju produksi gas yang dihasilkan maka kita dapat mengetahui kerja terbaik dari Generator HHO yang digunakan. Laju produksi Gas HHO tergantung pada volume (l) yang dihasilkan oleh Generator HHO setiap detik. Untuk mengetahui laju produksi *Brown's gas* dapat ditunjukkan pada Persamaan (2-15) berikut (Sopandi, 2015).

$$Q = \frac{v}{t} \left[\frac{l}{s} \right] \quad (2-15)$$

Ket :

Q = Produktivitas Gas HHO (l/s)

v = Volume Gas HHO (l)

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

3. Efisiensi Generator HHO

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 seperti persamaan (2-16) berikut (Williams, 2002).

$$\eta = \frac{\text{Energi yang dihasilkan}}{\text{Energi yang Digunakan}} \quad (2-16)$$

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 untuk 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. Untuk mengetahui hubungan kuat arus, tegangan dan nilai hambatan dalam proses elektrolisis air dapat dilihat pada persamaan (2-12) berikut ini (Bueche, 195).

$$V = I \cdot R \quad (2-17)$$

Ket :

V= Beda Potensial Tegangan (Volt)

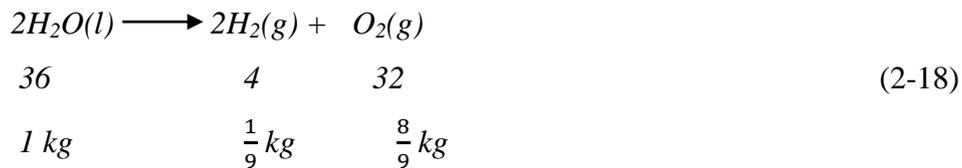
I = Kuat Arus Listrik (Ampere)

R = Hambatan (Ohm)

Energi berguna yang terkandung dalam bahan bakar merupakan hasil kali dari volume, massa jenis bahan bakar dan *Lower Heating Value* (LHV) bahan bakar. Oleh karena itu sebelumnya kita harus mengetahui masing masing nilai tersebut untuk mengetahui berapa jumlah energi yang terkandung pada gas HHO. Nilai- nilai yang perlu diketahui 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 dan oksigen, jika massa air (H₂O) yang dielektrolisis sebesar 1 kg maka dapat disimpulkan hasil produk *Brown's gas* juga terdiri dari massa total hidrogen (H₂) dan Oksigen (O₂) juga sebanyak 1 kg juga. Menurut tabel periodik unsur bahwa nilai Mr H₂O = 18, Mr H₂ = 2, Mr O₂ = 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 (H₂) ρ_{H2} = 0,08235 gr/l dan oksigen (O₂) ρ_{O2} = 1,3088 gr/l (*Cole Parmer Instrument, 2005*), maka massa jenis *Brown's gas* (ρ_{HHO}) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2-19) berikut ini.

$$\begin{aligned}
 \rho_{HHO} &= \frac{m_{HHO}}{V_{HHO}} = \frac{(m_{H_2} + m_{O_2})}{V_{HHO}} = \frac{(\rho_{H_2} \cdot V_{H_2} + \rho_{O_2} \cdot V_{O_2})}{V_{HHO}} & (2-19) \\
 &= \frac{(\rho_{H_2} \cdot \frac{2}{3} V_{HHO} + \rho_{O_2} \cdot \frac{1}{3} V_{HHO})}{V_{HHO}} \\
 &= \frac{2}{3} \rho_{H_2} + \frac{1}{3} \rho_{O_2} \\
 \rho_{HHO} &= \left(\frac{2}{3} \times 0,08235 \frac{gr}{lt}\right) + \left(\frac{1}{3} \times 1,3088 \frac{gr}{lt}\right) \\
 &= 0,491167 \text{ gram/lt}
 \end{aligned}$$

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

Untuk gas hidrogen (H₂) 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 (H₂) yang terdapat dalam *Brown's gas*. Jika massa H₂ 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 H₂, yaitu = 1/9 x 119,93 kJ/gr = 13,25 kJ/gr atau 13250 J/gr.

Secara teoritis perhitungan efisiensi generator HHO dapat ditunjukkan pada Persamaan (2-18) dibawah ini (*Marlina dkk, 2013*).

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

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

$$\eta = \frac{Q_{\text{HHO}} \times \rho_{\text{HHO}} \times \text{LHV}_{\text{HHO}}}{P} \times 100\% \quad (2-18)$$

Ket :

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

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

ρ_{HHO} = massa jenis gas HHO (gr/l)

P = Daya yang digunakan (Watt)

Dari persamaan (2-18) dapat disimpulkan bahwa efisiensi generator HHO berbanding terbalik dengan konsumsi daya yang digunakan untuk proses elektrolisis air. Semakin besar energi listrik yang digunakan maka akan menyebabkan penurunan efisiensi Generator HHO dikarenakan nilainya berbanding terbalik (Wiryanan dll, 2013). Semakin kecilnya volume gas HHO yang dihasilkan maka nilai efisiensi yang dihasilkan juga menurun.

2.8 Hipotesa

Semakin besar lubang pada elektroda akan menyebabkan debit larutan elektrolit semakin besar sehingga tumbukan antara tiap molekul semakin besar dalam satuan waktu dan konsumsi daya akan meningkat hingga pada titik optimumnya. Namun ada kemungkinan berkurang karena luas permukaan yang dialiri listrik berkurang sehingga tempat terjadi reaksi akan berkurang.

Penambahan bentuk pada permukaan sisi elektroda akan menambah jumlah luasan terjadinya reaksi antara elektrolit dan elektroda sehingga akan meningkatkan reaksi antara keduanya serta akan meningkatkan produktivitas gas brown.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dipakai adalah metode penelitian eksperimental (*Experimental Research*) dimana melakukan pengamatan secara langsung dan didapatkan sebab akibat dari suatu proses pada perubahan lubang pada elektroda dan bentuk permukaan dari elektroda tersebut.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat pembuatan pelat dilakukan di Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan Bidang Otomotif dan Elektronika Malang (PPPPTK BOE Malang) serta persiapan dan pengambilan data dilakukan di Laboratorium Surya dan Energi Alternatif, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya pada bulan Mei 2018 – Selesai.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel – variabel yang dipakai pada penelitian ini diantaranya :

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang dipilih oleh peneliti sebelum dilakukan penelitian dimana harga dan kondisinya dapat dirubah dengan metode tertentu dan dapat menghasilkan variabel terikat dari objek penelitian. Pada penelitian ini menggunakan variabel bebas sebagai berikut:

- Lubang pada elektroda : 5 mm, 8 mm, 10 mm, 12 mm.
- Bentuk permukaan elektroda : lingkaran, silang, 2 persegi panjang dan tanpa bentuk (polos)

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang didapatkan harganya ketika sudah melakukan pengujian dan nilainya terikat pada variabel bebas yang ditentukan terlebih dahulu.

Variabel terikat yang diamati pada penelitian ini adalah

- Tegangan Listrik (Volt)
- Suhu Katoda/ Anoda, Plat Netral dan larutan elektrolit setelah melewati generator HHO (°C)
- Kuat Arus (A)

- Produktivitas *Brown Gas* (l/s)
- Efisiensi *electrolyzer dry cell* (%)
- Daya yang digunakan (Watt)

3. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya sudah ditentukan dan dijaga tetap (konstan) selama pengujian. Dibawah ini adalah variabel terkontrol yang dipakai penelitian :

- Volume air yang digunakan 2,5 liter.
- Katalis yang digunakan NaOH dan persentase fraksi massa 1,77% atau 45 gram.
- Menggunakan Arus DC.
- Menggunakan 4 plat netral dan 2 plat sisi pada samping masing-masing elektroda.
- Menggunakan sekat berupa O-ring dengan diameter dalam 60 mm dan tebal 1,5 mm kecuali bagian yang memiliki bentuk memakai tebal 3 mm.
- Air yang dipakai air sumur dianggap sebagai H_2O .

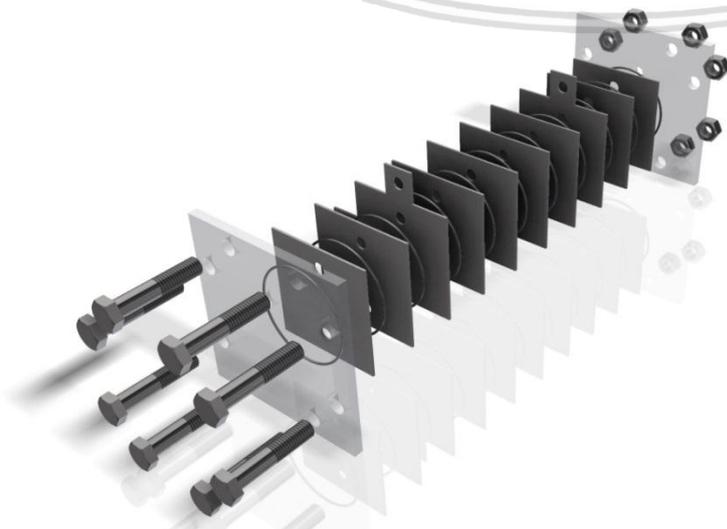
3.4 Alat dan Bahan Penelitian

3.4.1 Alat Penelitian

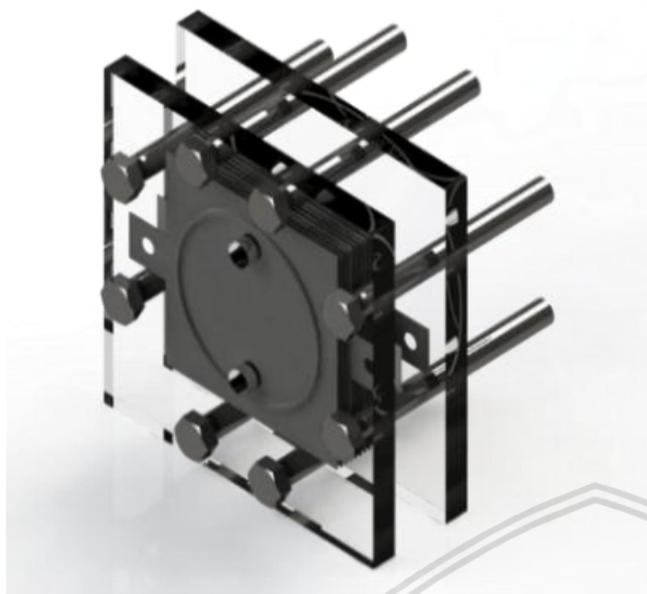
Berikut ini alat – alat yang digunakan pada penelitian ini :

1. Generator HHO (*Elektrolizer*)

Generator HHO adalah komponen utama yang berfungsi sebagai penghasil Gas Brown atau Gas HHO. Dimana generator yang digunakan adalah generator HHO tipe *dry cell*.



Gambar 3.1 Komponen penyusun generator HHO



Gambar 3.2 *Assembly* bagian-bagian penyusun generator HHO

Bagian – bagian dari generator HHO diantaranya :

➤ Pelat

Pelat yang dipakai untuk elektroda, plat netral dan plat sisi adalah *Stainless Steel 304L*. Pemilihan material ini karena *Stainless steel* tidak mudah korosi, mudah didapatkan dan tahan lama. Dimana disusun oleh

Tabel 3.1
Kandungan *Stainless Steel 304L*

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	N
Min	-	-	-	-	-	18,0	-	8,0	-
Max	0,03	2,0	0,75	0,045	0,030	20,0	-	10.5	0,10

Sumber : Atlas Steels Australia

Untuk pelat elektroda menggunakan *stainless steel* dengan ketebalan 1,8 mm dan memiliki 4 variasi bentuk sesuai dengan Gambar 3.3



➤ Karet O-Ring (Gasket)

Gasket ini berfungsi untuk memberi celah antar tiap pelat. Dimana pada penelitian ini menggunakan gasket dengan diameter 60 mm dan terdapat 2 macam ketebalan yaitu tebal 1,5 mm dan 3 mm. Untuk ketebalan 3 mm digunakan untuk memberi jarak elektroda yang memiliki variasi bentuk permukaan.

➤ Akrilik Bening

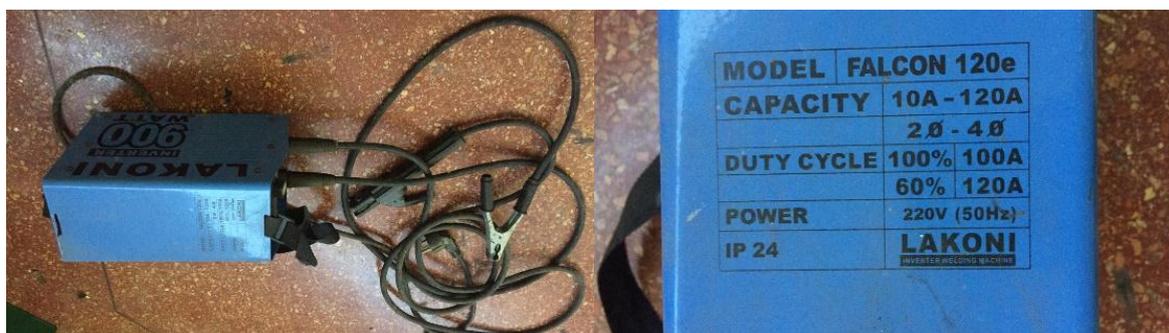
Akrilik bening dipakai untuk menjepit pelat dan gasket. Pada akrilik bening diberi 2 buah lubang (*noozle*) dan pada bagian samping diberi lubang untuk mur dan baut.

➤ Mur dan Baut

Digunakan agar akrilik bening, pelat dan gasket menempel sempurna dan menghindari kebocoran. Pada penelitian ini dibutuhkan 8 mur dan baut.

2. DC Inverter (*Power Supply*) dan Kabel

Digunakan untuk mengubah arus AC menjadi arus DC yang akan dihubungkan ke pelat elektroda (katoda dan anoda). Output listrik DC Inverter las dapat diatur kuat arusnya (I). Prinsip kerja dari mesin las inverter adalah tegangan AC yang disediakan oleh PLN disearahkan menjadi tegangan DC melalui *dioda bridge* yang merupakan komponen yang terdapat pada mesin las inverter. Sedangkan kabel berfungsi untuk mengalirkan listrik dari inverter ke elektroda. Kabel yang dipakai 2 buah untuk katoda dan anoda. Kabel yang dipakai adalah tipe NYAF diameter 10 mm dengan tegangan 600/1000 V.



Gambar 3.5 *Power supply* dan kabel

Spesifikasi :

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

3. Wadah Elektrolit

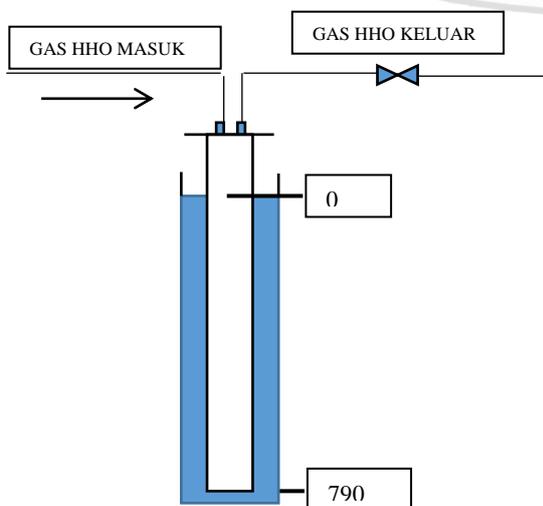
Wadah Elektrolit adalah sebuah kotak plastik yang berguna untuk menampung larutan elektrolit. Dalam penelitian ini terdapat dua wadah yang pertama berguna untuk menampung larutan elektrolit yang akan masuk generator HHO dan yang kedua digunakan untuk menampung elektrolit sisa hasil reaksi elektrolisis air dan keluaran gas HHO yang akan mengalir ke tabung volume ukur. Digunakan dua wadah supaya fraksi masa katalis tidak berubah.

4. Selang

Selang digunakan untuk mengalirkan larutan elektrolit baik dari masuk dan keluar generator HHO. Serta digunakan untuk mengalirkan gas HHO dari *bubbler* keluar ke tabung ukur volume. Selang yang digunakan bening dan berdiameter 8 mm.

5. Tabung Ukur Volume

Digunakan untuk menampung dan mengukur gas brown hasil proses elektrolisis (Gas HHO) yang memiliki diameter 50 mm atau kapasitas 1552 ml.



Gambar 3.6 Tabung ukur volume

6. Digital Multimeter

Digunakan untuk mengukur tegangan (*voltage*) dan arus (A) yang mengalir pada *electrolyzer* (generator HHO). Oleh karena itu dibutuhkan 2 multimeter.



(a)

(b)

Gambar 3.7 Digital multimeter

Spesifikasi *multimeter a* :

- Merk : PROHEX
- Tipe : MY-60
- Max Display : 1999
- Size & Weight : 75 x 130 x 36 mm , weight 150g
- DCV : 200mV-500V
- ACV : 200V-500V
- DCA : 2000uA-10A
- OHM : 200-20M
- Power Supply : 9V 6F22

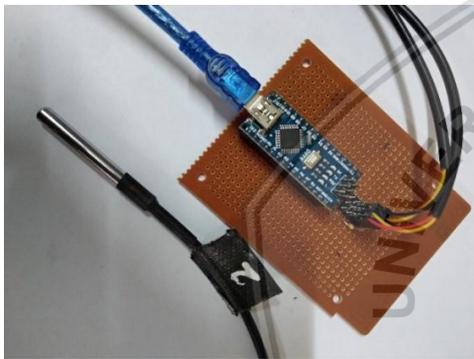
Spesifikasi *multimeter b* :

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

- DCA : 40mA – 400mA
- ACA : 40mA – 400mA
- Ω : 400m Ω – 40M Ω
- Baterai : 0.5A/250V

7. Sensor Suhu dan *Arduino*

Arduino dan sensor suhu berkolaborasi untuk mengukur suhu yang ada pada katoda, anoda, plat netral dan saluran keluar dari generator HHO. Disini sensor suhu yang digunakan adalah sensor *waterproof* tipe DS18B20 dengan spesifikasi sebagai berikut:



Gambar 3.8 Arduino nano dan sensor suhu

Spesifikasi sensor DS18B20 :

- Temperature range: -55 to 125C (-67F to +257F)
- 9 to 12 bit Resolusi yang dapat dipilih
- Unique 64 bit ID burned into chip
- Multiple sensors can share one pin
- $\pm 0.5C$ Accuracy from -10C to +85C
- Temperature-limit alarm system
- Query time is less than 750ms
- Usable with 3.0V to 5.5V power/data

Sedangkan untuk arduino menggunakan arduino nano memiliki spesifikasi :

- Microcontroller Atmel ATmega328
- Operating Voltage (logic level) 5 V
- Input Voltage (recommended) 7-12 V

- Input Voltage (limits) 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
- SRAM 2 KB (ATmega328)
- Dimensions 0.73" x 1.70"

8. Stopwatch

Berfungsi untuk mengukur waktu pada saat pengambilan data.

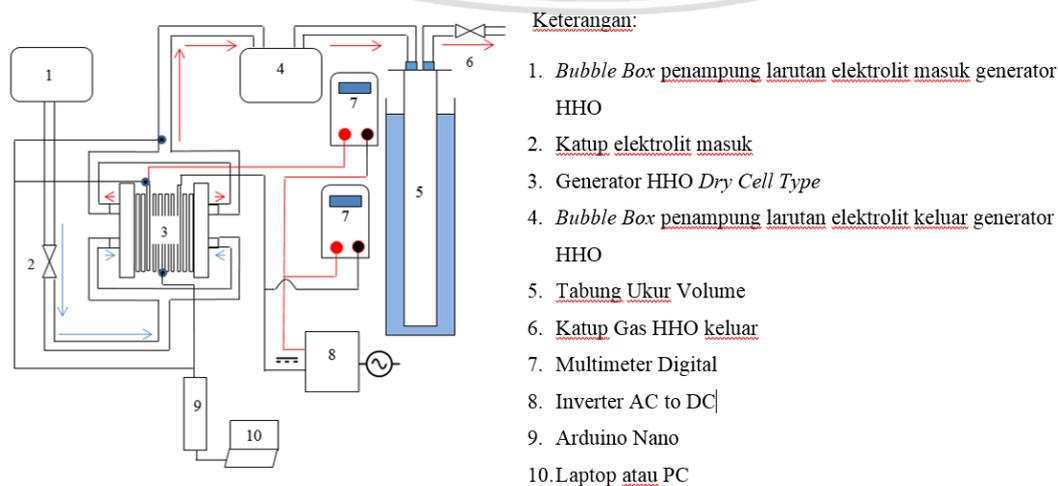
9. Timbangan Digital

Berfungsi untuk mengukur massa dari katalis yang akan dicampurkan dengan air sebagai larutan elektrolit agar proses elektrolisis terjadi lebih cepat daripada tidak menggunakan katalis.

3.4.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah larutan elektrolit dimana terdiri dari 45 gram Natrium Hidroksida (NaOH) dan air (H₂O) sebanyak 2500 ml atau 2,5 L. Serta menggunakan Lem G untuk menempelkan variasi bentuk permukaan pada elektroda.

3.4.3 Instalasi Penelitian



Gambar 3.9 Instalasi Penelitian

3.6 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Mencari dan mempelajari teori-teori yang mendukung penelitian baik dari buku, jurnal, internet dll sehingga dapat memperkuat hipotesa dan memperjelas dalam analisa hasil penelitian.

2. Observasi Lapangan

Dilakukan untuk studi yang diperlukan dan mendukung dalam penelitian ini. Hal ini memiliki tujuan untuk survey dan mencari alat dan bahan yang dibutuhkan seperti pelat *stainless steel*, NaOH, Arduino dll.

3. Persiapan (Perencanaan dan Perancangan Alat)

Perencanaan dapat dilakukan dengan mendesain elektroda agar pada saat proses permesinan menghasilkan sesuai yang diharapkan dan membuat rancangan instalasi alat. Sedangkan perancangan alat diaplikasikan dengan pembuatan alat pengukur suhu yaitu arduino dimana perlu adanya perakitan dan pemrograman alat tersebut agar berjalan sesuai dengan yang diinginkan.

4. Pembuatan Alat dan Pemasangan Instalasi

Pembuatan alat dilakukan dengan melakukan proses *milling* pada *stainless steel* yang akan digunakan sebagai elektroda menggunakan mesin CNC sehingga dapat membentuk permukaan sesuai dengan yang diinginkan. Selanjutnya akan dilakukan pemasangan instalasi dengan merangkai alat sesuai dengan desain.

5. Penelitian dan Pengambilan Data

Menerapkan instalasi alat yang sudah dirangkai dan mengambil data yang dibutuhkan, seperti tegangan, suhu dan gas yang dihasilkan.

6. Analisa Hasil Penelitian

Kegiatan yang dilakukan setelah mendapatkan data hasil pengujian dan mengolahnya baik dalam bentuk tabel atau grafik sehingga memudahkan dalam membaca. Serta membandingkan data yang didapat dengan teori yang telah didapat saat studi literatur.

3.7 Prosedur Pembuatan Generator HHO

Prosedur yang dilakukan saat pembuatan generator HHO adalah

1. Siapkan bahan generator HHO: 2 buah *Casing* berbahan akrilik bening berukuran 110 cm x 110 cm dengan ketebalan akrilik 6 mm, pelat *stainless steel 304L* dengan

ketebalan 1,8 mm sebagai elektroda dan pelat netral dengan ketebalan 1 mm, *nozzle* untuk akrilik berbahan kuningan dengan diameter 8 mm, karet *O-Ring* dengan diameter 60 mm dengan tebal 3 mm, mur dan baut berdiameter 10 mm untuk pengunci generator HHO.

2. Lubangi *casing generator HHO* yang sudah berukuran 110 mm x 110 mm tersebut sebanyak 10 buah lubang. 8 lubang untuk mur dan baut dengan diameter 10 mm sementara 2 lubang untuk lubang *inlet* dan *outlet* larutan elektrolit dengan diameter 8 mm.
3. Pasangkan *nozzle* dengan diameter 8 mm pada akrilik kedalam lubang masuk dan keluar larutan elektrolit dan kuatkan dengan lem *dextone*
4. Potong pelat *stainless steel* diameter 8 mm sebanyak 8 buah polos dengan ukuran 70x90 mm dan pada bagian panjang 90 mm bentuk sisi persegi untuk sambungan elektroda (sesuai desain). Potong pelat untuk bentuk silang, 2 persegi panjang dan lingkaran dan lem pada permukaan elektroda yang polos serta ditekan menggunakan ragum. Cek menggunakan *multimeter* hambatan listriknya, agar dipastikan dapat menghantarkan listrik.
5. Potong *stainless steel* masing – masing sebanyak 8 buah dengan ukuran 70x70 mm untuk pelat netral dan pelat sisi.
6. Lubangi pelat yang sudah terpotong sesuai dengan desain yang sudah ditentukan dengan 2 buah lubang diameter 5, 8, 10 dan 12 mm.
7. Susun pelat elektroda dan pelat netral secara sejajar dengan memberikan karet *O-ring* disela-sela antara pelat dan akrilik sebagai *casing*.
8. Kencangkan susunan akrilik dan pelat dengan menggunakan mur dan baut pada setiap sisi yang telah dilubangi. Generator HHO siap digunakan.

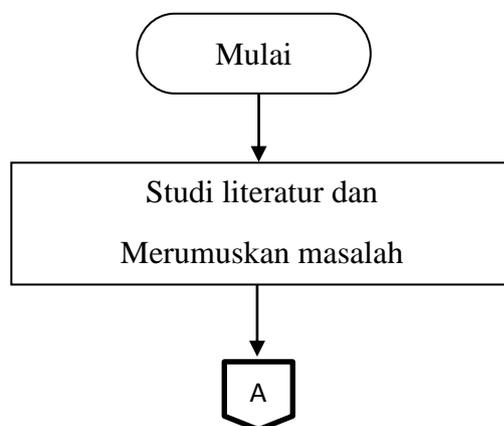
3.8 Pelaksanaan Penelitian

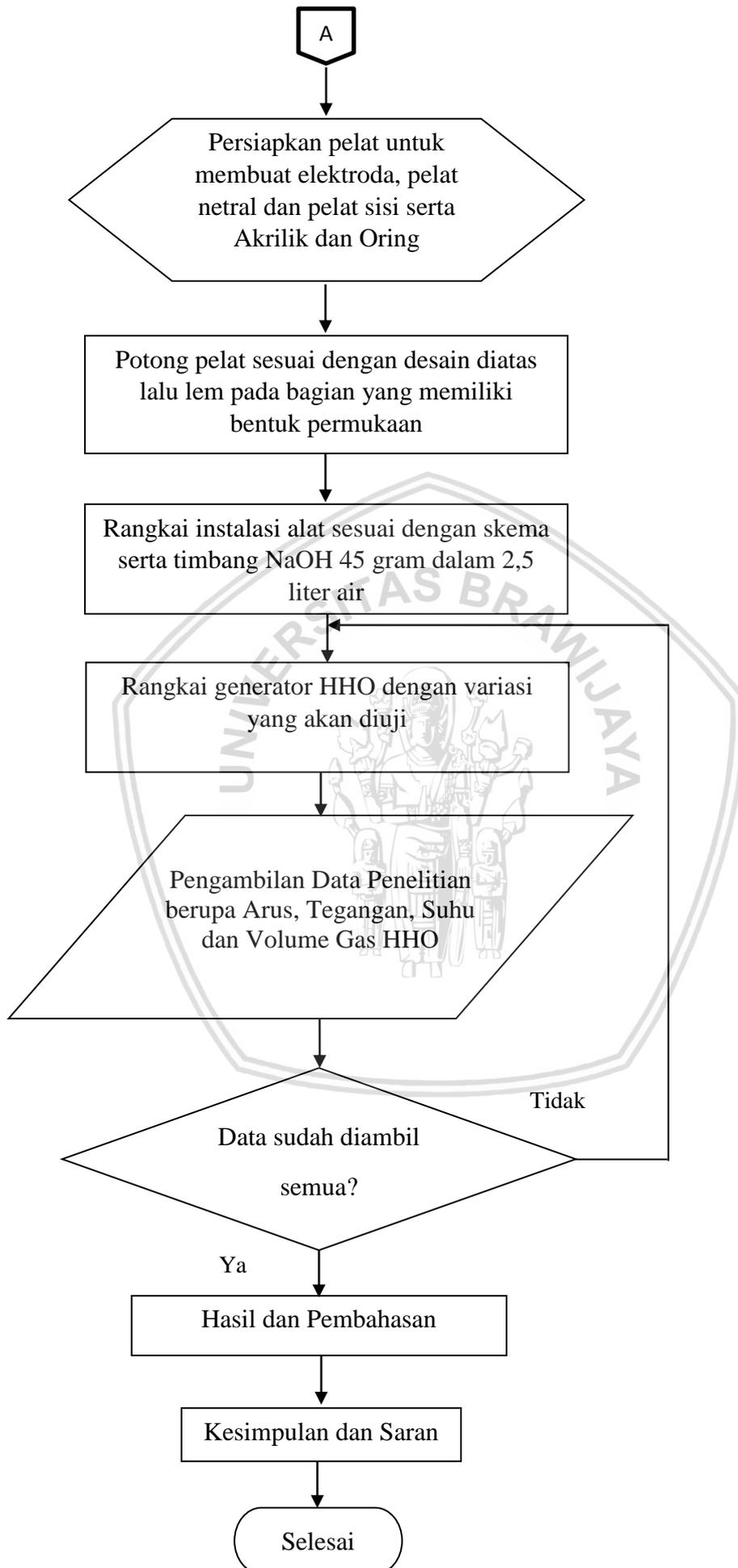
Penelitian ini dilakukan dengan langkah – langkah dibawah ini :

1. Persiapkan semua peralatan sesuai skema diatas
2. Susun generator HHO sesuai dengan variasi dan skema yang telah ditentukan, contohnya pada variasi diameter lubang 5 mm dan bentuk permukaan silang, gunakan karet O-ring 3 mm sebagai sekat antar elektroda dan plat netral, gunakan 2 pelat elektroda 4 pelat sisi dan 4 pelat netral lalu susun menjadi satu dengan dijepit 2 buah akrilik.
3. Lalu pasang generator HHO kedalam instalasi penelitian sesuai skema yang ditentukan

4. Persiapkan larutan elektrolit yang akan dipakai pengujian yaitu dengan cara siapkan katalis NaOH 45gr yang dilarutkan (diaduk) dengan air 2,5 liter sesudah itu larutan elektrolit tersebut tuang pada *bubbler box* penampungan elektrolit .
5. Pasang dua buah kabel (katoda dan anoda) dari inventer ke instalasi generator HHO. Atur arus yang akan mengalir pada generator HHO dengan mengatur tombol *switch* putar pada inventer.
6. Pengambilan data dilakukan pada setiap rentang waktu 10 detik sampai dengan gelas ukur volume alir gas HHO tidak muat. Data yang diambil berupa tegangan listrik dan kuat arus dengan menggunakan *digital multimeter* , temperature elektrolit setelah keluar dari generator HHO, pelat netral dan elektroda dengan menggunakan arduino dan volume alir gas HHO dengan menggunakan gelas ukur.
7. Nyalakan inventer dengan menekan *switch on* tanda dimulainya langkah pengambilan data dan catat hasilnya sesuai yang ditunjukkan pada alat ukur.
8. Setiap selesai satu kali variasi pengambilan data instalasi didinginkan sampai mencapai temperatur lingkungan seperti sebelum pengambilan data dimulai yang ditunjukkan oleh program arduino.
9. Ulangi pengambilan data dengan membuat lubang elektroda yang lebih besar dari sebelumnya (misal sebelumnya 5 mm maka dibor 8 mm untuk dipakai pada pengujian selanjutnya) variasi lubang elektroda 5 mm, 8 mm , 10 mm dan 12 mm dan variasi bentuk polos, silang, 2 persegi panjang dan lingkaran.
10. Lakukan analisa dan pengolahan terhadap hasil data yang diperoleh dari pengujian ini untuk mendapatkan produktifitas gas HHO, efisiensi generator HHO dan daya yang dibutuhkan generator HHO serta temperatur larutan elektrolit.

3.9 Diagram Alir Penelitian







BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

Pada analisa data akan dilakukan perhitungan data-data yang telah diperoleh dari uji eksperimen secara langsung, yaitu berupa data tegangan listrik yang dibutuhkan, arus yang dipakai, suhu katoda (T1), suhu pelat netral (T2), suhu larutan keluar generator (T3), daya yang diperlukan selama proses reaksi, volume gas HHO yang dihasilkan dan efisiensi dari generator HHO tersebut, berikut tabel 4.1 merupakan contoh hasil data pengukuran performansi generator HHO dan selengkapnya pada lampiran 1.

Tabel 4.1

Hasil Pengukuran Generator HHO dengan Diameter Lubang 5 mm dan Bentuk Permukaan 2 Persegi Panjang

	t (sekon)	Tegangan (V)	Arus (A)	Kenaikan (mm)	Volume (l)	T1 (C)	T2 (C)	T3 (C)	Daya (W)	Q (l/s)	η (%)
lubang 5 mm dan persegi	10	19.70	9.80	100	0.1964	25.33	26.50	27.33	193.060	0.0196	66.215
	20	19.47	9.73	200	0.3929	25.33	26.50	27.83	189.476	0.0196	67.468
	30	19.40	9.70	303	0.5958	25.33	26.42	28.17	188.180	0.0199	68.687
	40	19.13	9.73	410	0.8054	25.33	26.50	28.50	186.231	0.0201	70.359
	50	19.10	9.67	503	0.9887	25.42	26.67	28.67	184.633	0.0198	69.699
	60	19.00	9.70	600	1.1786	25.50	26.83	28.83	184.300	0.0196	69.362
	70	19.07	9.67	703	1.3815	25.50	26.92	29.00	184.311	0.0197	69.689
	80										
	90										
	100										
	Rata-rata		19.27	9.71	403	0.7913	25.39	26.62	28.33	187.170	0.0198

4.1.1 Contoh Perhitungan Data

Pada penelitian ini menggunakan pelat dengan ketebalan pelat 1,8 mm dengan jarak antar pelat sebesar 1,5 mm kecuali bagian elektroda dan plat netral menggunakan jarak 3 mm. Jenis material yang digunakan adalah *stainless steel* 304L. Dari data yang telah diperoleh akan dilakukan perhitungan untuk melihat parameter-parameter generator HHO tersebut. Berikut merupakan contoh perhitungan variasi lubang 5 mm dan bentuk permukaan 2 persegi panjang pada detik ke 40 dari tabel 4.1:

1. Daya generator HHO

Arus listrik (A) dan tegangan (Volt) yang dialirkan pada rangkaian generator HHO sangat berpengaruh pada proses elektrolisis berlangsung, sehingga akan berdampak pada produktivitas gas HHO. Arus listrik dan voltase yang terpakai merupakan besar energi yang terpakai pada proses reaksi elektrolisis, energi tersebut dapat dihitung dengan persamaan (2-14) berikut:



$$P = V \cdot I$$

$$P = 19,13 \cdot 9,73$$

$$P = 186,231 \text{ Watt}$$

2. Laju produksi Gas Brown

Laju produksi adalah banyaknya produk gas HHO per satuan waktu, pada penelitian kali ini data yang telah didapatkan yaitu berupa volume (l) per sepuluh detik. Hasil data dari tabel 4.1 dapat diketahui melalui persamaan (2-15) berikut:

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

$$Q = \frac{0,805}{40} \left[\frac{l}{s} \right]$$

$$Q = 0,0201 \left[\frac{l}{s} \right]$$

3. Efisiensi generator

Perhitungan efisiensi dapat diketahui melalui persamaan (2-18), dimana efisiensi ini untuk melihat performa generator HHO *dry cell* dan bergantung pada produktivitas gas brown serta daya yang dibutuhkan. Perhitungan efisiensi dapat dilihat di persamaan dibawah ini:

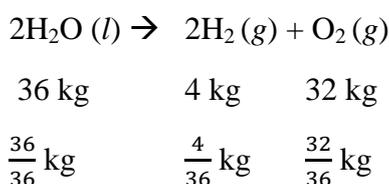
$$\eta = \frac{\text{Energi HHO hasil elektrolisis}}{\text{Energi untuk memproduksi gas HHO}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{QH_{HO} \times \rho_{HHO} \times LHV_{HHO}}{P} \times 100\%$$

Dari persamaan tersebut perlu diketahui terlebih dahulu massa jenis HHO serta *Lower Heating Value* (LHV) dari gas HHO, dibawah ini adalah cara menentukan parameter-parameter tersebut:

- Massa Jenis Gas HHO

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



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

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

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

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

- *Low Heating Value* gas Brown

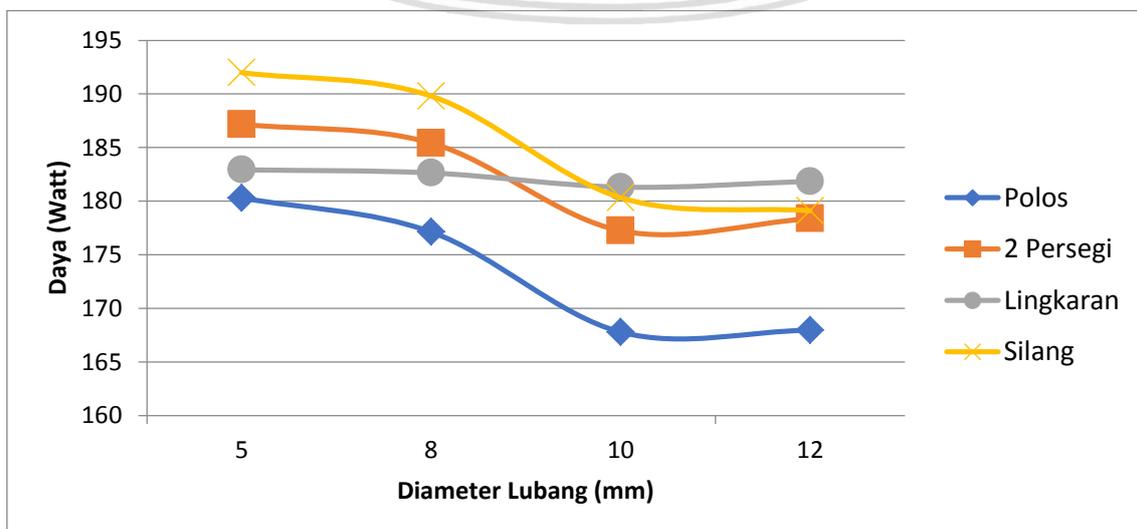
Gas hidrogen mempunyai nilai kalor sebesar 119,93 kJ/g , maka massa *hydrogen* dalam *brown's gas* seperti pada persamaan sebelumnya adalah 1/9 maka *hydrogen* memiliki LHV sebesar 13,25 kJ/g.

Dari tabel 4.1 maka efisiensi dari *electrolyzer dry cell* tersebut adalah:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{0,0201 \left[\frac{\text{l}}{\text{s}} \right] \times 0.491167 \left[\frac{\text{gr}}{\text{l}} \right] \times 13250 \text{ J/g}}{186,231} \times 100\% \\ &= 70,36 \% \end{aligned}$$

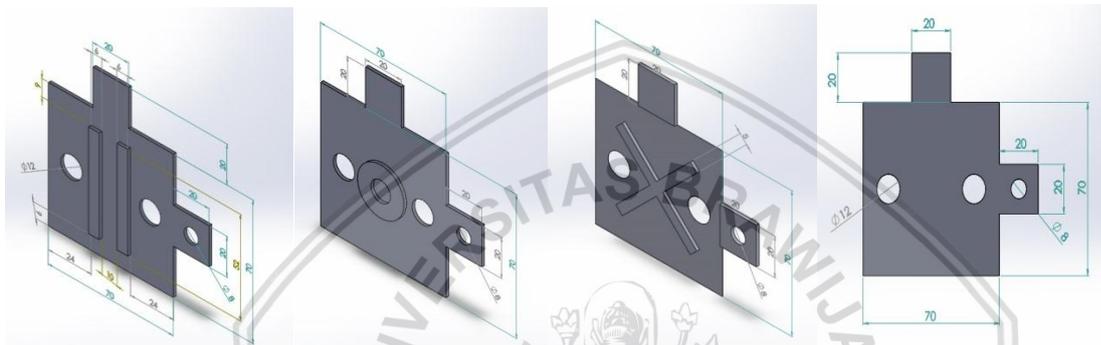
4.2 Grafik dan Pembahasan

4.2.1 Grafik Hubungan Antara Daya Terhadap Diameter Lubang Elektroda



Gambar 4.1 Hubungan antara daya terhadap diameter lubang elektroda

Dari gambar 4.1 dapat dilihat bahwa kecenderungan dengan penambahan diameter lubang akan mengurangi hambatan yang ada pada elektroda sehingga daya yang dibutuhkan akan turun, namun pada diameter lubang 12 mm justru mengalami kenaikan. Untuk elektroda yang mengalami penurunan disebabkan berkurangnya luas permukaan kontak antara elektroda dan larutan elektrolit berkurang. Namun dengan diameter lubang 12 mm justru mengalami peningkatan disebabkan debit aliran semakin tinggi sehingga daya yang dialirkan untuk reaksi akan semakin meningkat juga.



Gambar 4.2 Desain bentuk permukaan elektroda

Tabel 4.2
Hasil Pengukuran Luas Permukaan Masing-Masing Elektroda

Luas Permukaan (mm ²)				
	Polos	Persegi	Lingkaran	Silang
5 mm	2808.93	3226.53	3018.24	3226.53
8 mm	2778.29	3195.89	2987.6	3195.89
10 mm	2750	3167.6	2959.31	3167.6
12 mm	2715.43	3133.03	2924.74	3133.03

Dari tabel diatas didapatkan luas permukaan tertinggi ada pada persegi dan silang dengan diameter 5 mm yakni memiliki dimensi 3226.53 mm². Sehingga dapat disimpulkan gambar 4.1 konsumsi daya tertinggi ada pada bentuk silang dengan diameter 5 mm mencapai 191.98 Watt sedangkan penggunaan daya terendah ada pada tanpa bentuk atau polos dengan diameter 10 mm yakni sebesar 167.793 Watt dimana hanya memiliki selisih sedikit dengan polos berdiameter 12 mm yaitu 167.967 Watt.

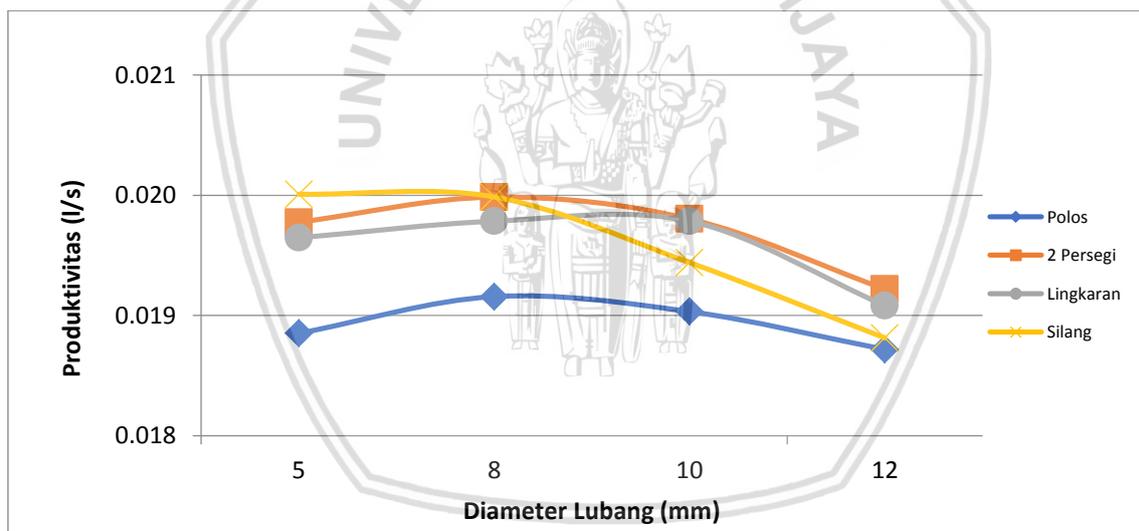
Pada tabel luas permukaan tertinggi ada pada persegi dan silang, akan tetapi dari hasil penelitian didapatkan perbedaan konsumsi daya, hal ini diakibatkan pada saat proses elektrolisis bentuk silang terdapat gas HHO yang terjebak antara elektroda dan bentuk

silang sehingga menimbulkan *losses energy* atau berubahnya energi menjadi kalor dimana seharusnya berubah menjadi gas HHO. Dapat dibuktikan dengan gambar dibawah ini:



Gambar 4.3 *Losses energy* pada pelat elektroda

4.2.2 Grafik Hubungan Antara Produktivitas Terhadap Diameter Lubang Elektroda



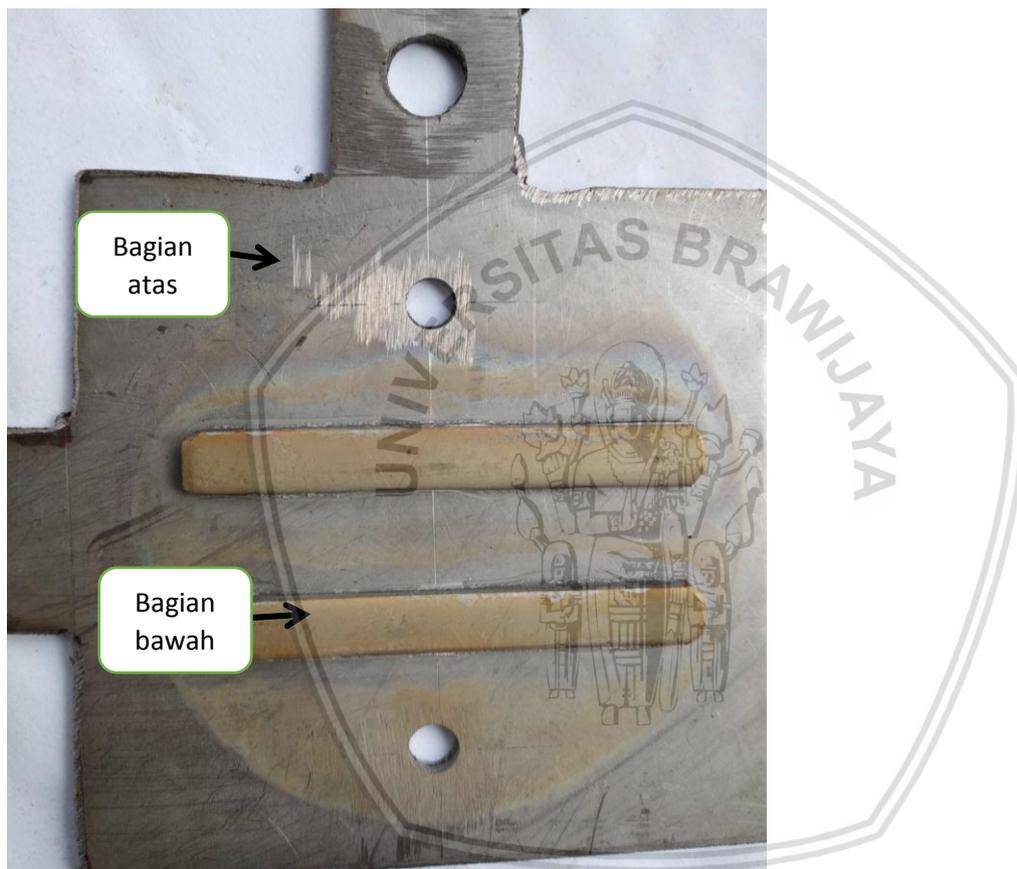
Gambar 4.4 Hubungan antara produktivitas terhadap diameter lubang elektroda

Pada gambar 4.4 dapat kita lihat kecenderungan grafik diatas naik namun pada diameter 10 dan 12 mengalami penurunan dimana produktivitas gas brown tertinggi ada pada lubang elektroda diameter 8 mm dengan bentuk silang dan persegi mencapai 0.0200 l/s. Sementara produksi gas HHO terendah ada pada elektroda polos diameter 12 mm yang hanya mampu produksi sebesar 0.0187 l/s.

Menurut Rahayu (1995) bahwa reaksi elektrolisis adalah reaksi heterogen, karena reaksinya terjadi pada elektroda dan tanpa elektroda reaksi tersebut tidak berlangsung. Dalam reaksinya terdapat 2 tahap penentu laju reaksi yakni adsorpsi pereaksi di permukaan

dan reaksi pada permukaan. Adsorpsi merupakan peristiwa menempelnya molekul, ion, maupun atom pada permukaan. Proses ini menghasilkan lapisan tipis adsorbat (zat yang dijerat) pada permukaan adsorben. Sementara itu reaksi permukaan posisi pereaksi yang teradsorpsi harus berdekatan sehingga reaksi dapat terjadi.

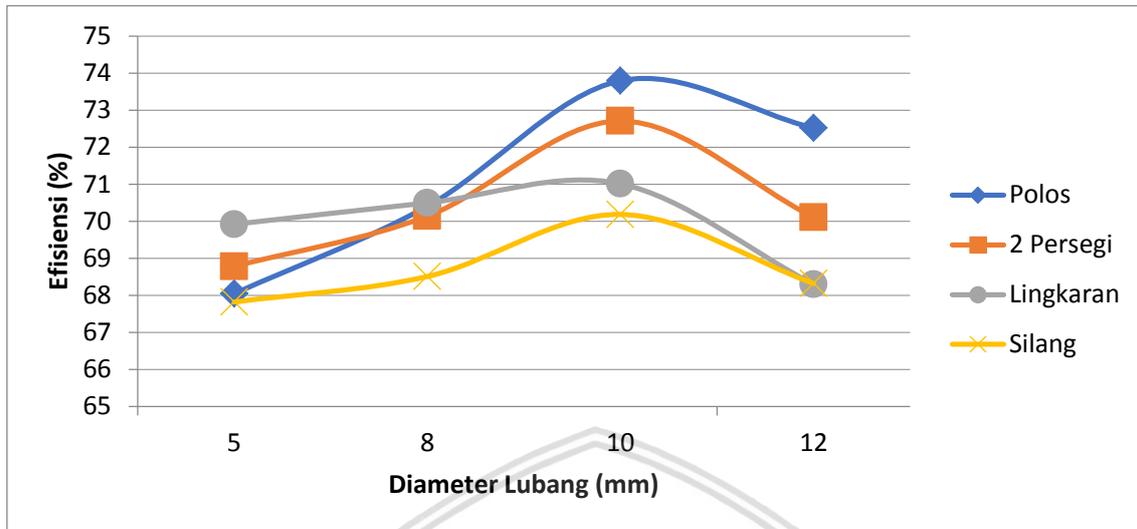
Pada lubang diameter 5 mm gas HHO yang dihasilkan sebenarnya banyak, namun karena lubang untuk keluar dari pelat elektroda kecil sehingga terjadi penumpukan pada bagian atas elektroda yang dapat dibuktikan dengan gambar 4.5



Gambar 4.5 Terdapat bagian yang tidak terendam larutan elektrolit (bagian atas)

Sedangkan pada lubang berdiameter 12 mm produktivitasnya juga rendah dikarenakan aliran larutan elektrolit yang cepat sehingga reaksi belum terjadi sempurna larutan elektrolit sudah meninggalkan elektroda. Produktivitas berhubungan dengan daya yang digunakan, apabila daya yang digunakan maka sesuai dengan teori akan terjadi banyak reaksi pada elektroda sehingga menyebabkan produksi gas HHO meningkat. Namun pada bentuk silang dengan diameter 10 dan 12 mm mengalami penurunan yang signifikan dikarenakan seperti gambar 4.3 adanya *losses energy* diakibatkan terjebaknya gas diantara pelat dan bentuknya.

4.2.3 Grafik Hubungan Antara Efisiensi Terhadap Diameter Lubang Elektroda



Gambar 4.6 Hubungan antara efisiensi terhadap diameter lubang elektroda

Dapat dilihat dari gambar 4.3 menunjukkan bahwa efisiensi generator cenderung naik namun pada diameter 12 mm turun. Hal ini berhubungan dengan gambar 4.1 dan gambar 4.2 dimana efisiensi akan cenderung meningkat apabila daya rendah dan produktivitas tinggi. Efisiensi tertinggi didapat pada elektroda polos dengan diameter lubang 10 mm yakni mencapai 73,796 % . Sementara efisiensi terendah ada pada bentuk silang dengan diameter lubang 5 mm sebesar 67,82 % dikarenakan terdapat reaksi pada bagian bawah bentuk permukaan seperti pada gambar 4.3 serta adanya penumpukan endapan Na^+ dimana endapan tersebut dapat menghalangi bertemunya elektroda dan elektrolit.



Gambar 4.7 Terdapat Na^+ pada pelat elektroda

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa endapan pada elektroda polos lebih sedikit dibanding dengan yang persegi, lingkaran dan silang karena pada gambar 4.1 dan 4.4 hanya mengkonsumsi daya sedikit dan menghasilkan gas sedikit namun efisiensinya tertinggi. *Losses energy* adalah faktor yang membedakan antara polos dengan yang

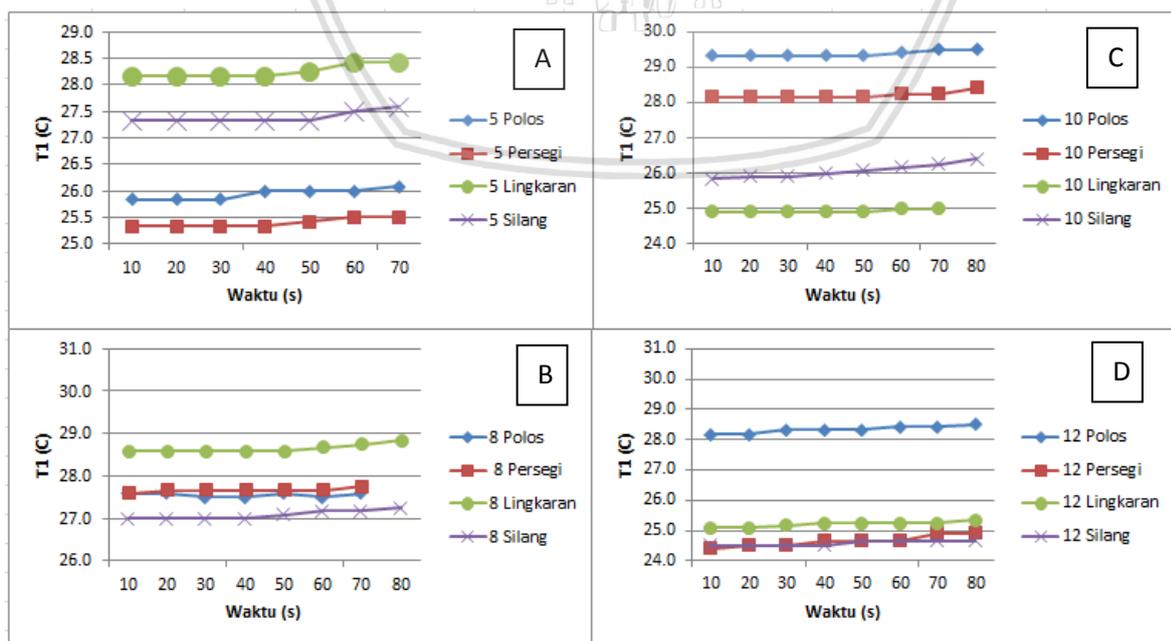
memiliki bentuk. Dari gambar 4.6 didapatkan bahwa *losses energy* pada polos paling sedikit. Penempelan Na^+ dan ion lainnya pada elektroda dapat menambah hambatan listrik pada proses elektrolisis air. Semakin luas dan tebal penumpukan atau penempelan Na^+ dan ion lainnya dapat mengurangi efisiensi karena hambatan semakin meningkat. Dapat dilihat pada persamaan 2-14, 2-17 serta 2-18.

Selain itu terdapat beberapa permukaan yang tidak bekerja maksimal saat elektrolisis diakibatkan terdapat lem disekitar bentuk sehingga gas HHO yang diproduksi tidak sebanding dengan daya yang mengalir ke semua bagian permukaan elektroda sampai ke bagian bentuknya. Hal ini dapat dibuktikan dengan gambar dibawah ini



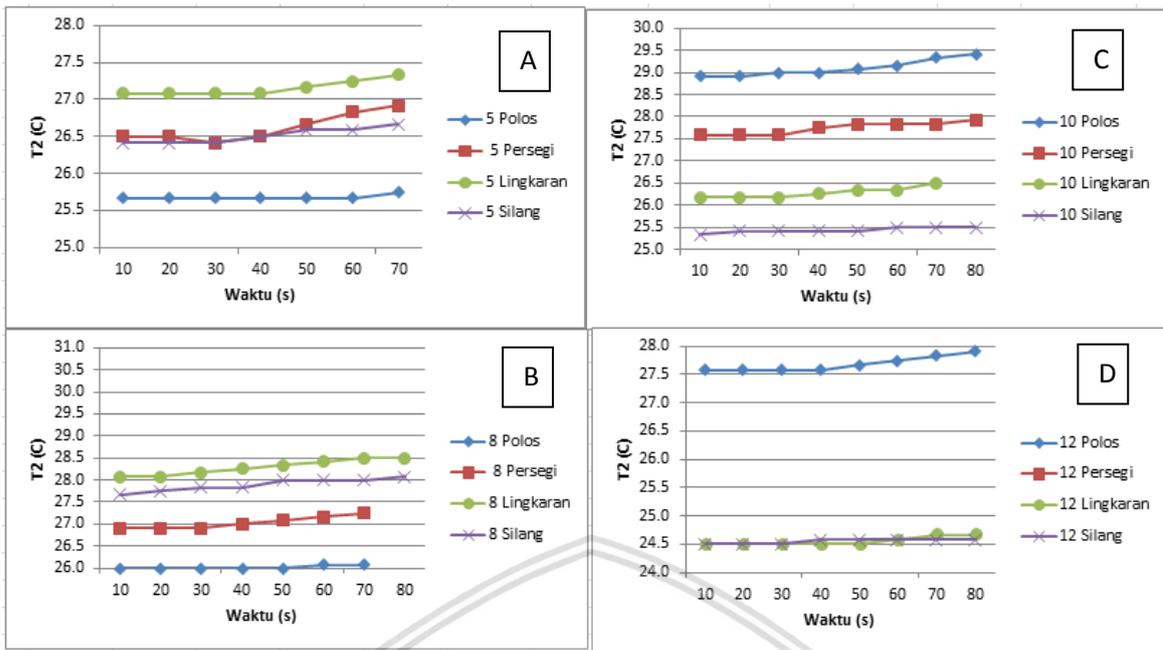
Gambar 4.8 Bekas pengeleman yang menghalangi proses elektrolisis

4.2.4 Grafik Hubungan Antara Suhu Terhadap Diameter Lubang Elektroda



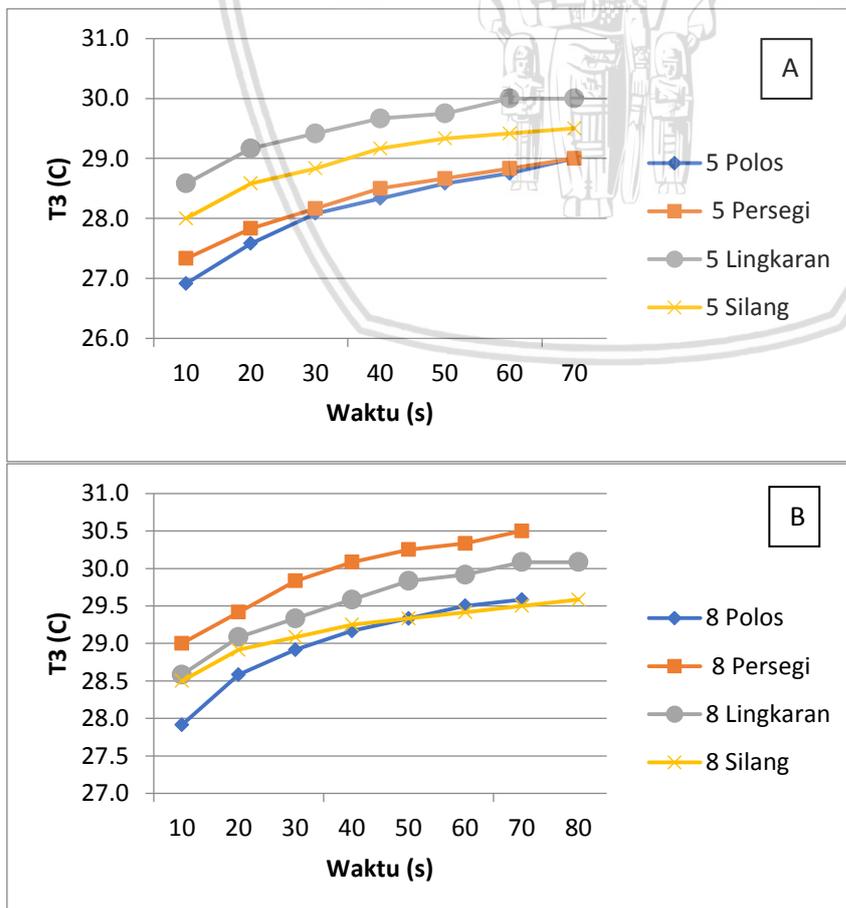
Gambar 4.9 Grafik hubungan T1 (Suhu elektroda) dan waktu; A. Diameter 5 mm ; B. Diameter 8 mm ; C. Diameter 10 mm ; D. Diameter 12 mm

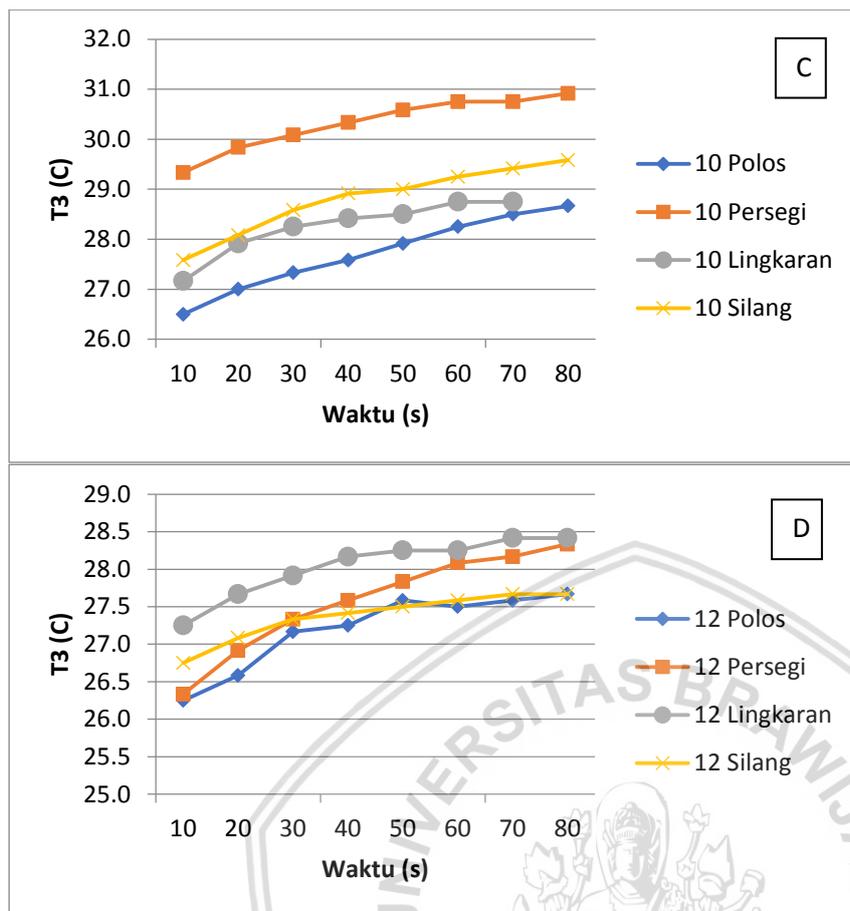




Gambar 4.10 Grafik hubungan T_2 (Suhu pelat netral) dan waktu; A. Diameter 5 mm ; B. Diameter 8 mm ; C. Diameter 10 mm ; D. Diameter 12 mm.

Gambar 4.5 dan gambar 4.6 menunjukkan suhu pelat elektroda dan netral, didapatkan bahwa suhu pada kedua daerah tidak signifikan naik, kenaikan hanya berkisar $0.25 - 1^\circ\text{C}$.





Gambar 4.11 Grafik hubungan T3 (Suhu elektrolit keluar) dan waktu; A. Diameter 5 mm ; B. Diameter 8 mm ; C. Diameter 10 mm ; D. Diameter 12 mm.

Dari gambar 4.7 menunjukkan suhu tertinggi ada pada bentuk persegi dengan diameter lubang 10 mm yang mencapai suhu 30.92 °C. Sementara suhu terendah ada pada bentuk polos dengan diameter lubang 12 mm yakni sebesar 26.50 °C. Hal ini berbanding lurus dengan produktivitas gas brown dimana bentuk persegi memiliki hasil terbaik dikarenakan banyaknya terjadi reaksi sehingga gesekan antar molekul semakin sering dan menimbulkan panas. Namun hal ini sangat berpengaruh dengan suhu awal atau suhu lingkungan saat memulai data. Apabila mengacu pada suhu awal dan suhu akhir, kenaikan suhu terbesar ada pada bentuk polos diameter 5 mm yang mencapai kenaikan sebesar 2.33 °C. Hal ini dikarenakan dengan diameter lubang kecil akan mengakibatkan molekul lama keluar generator dan bergerak aktif sehingga menimbulkan gesekan antar molekul yang tinggi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Menurut hasil penelitian dan pembahasan data yang sudah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Diameter lubang dan bentuk elektroda mempengaruhi Produktivitas *Brown's gas* dan efisiensi generator HHO tipe *dry cell*.
2. Semakin tinggi luas permukaan antara larutan elektrolit dan elektroda akan meningkatkan daya dan produktivitas namun tidak terhadap efisiensinya.
3. Suhu tertinggi ada pada bentuk persegi dengan diameter lubang 10 mm yang mencapai suhu 30.92 °C. Sementara suhu terendah ada pada bentuk polos dengan diameter lubang 12 mm yakni sebesar 26.50 °C. Perubahan suhu pada elektroda dan pelat netral tidak terlalu signifikan hanya berkisar 0,25 – 1 °C.
4. Produktivitas brown's gas tertinggi didapat pada lubang elektroda diameter 8 mm dengan bentuk silang dan persegi mencapai 0,0200 l/s. Sementara produksi gas HHO terendah ada pada elektroda polos diameter 12 mm yang hanya mampu produksi sebesar 0.0187 l/s.
5. Efisiensi Generator HHO tertinggi didapat pada bentuk polos diameter lubang 10 mm yakni mencapai 73,796 % . Sementara efisiensi terendah ada pada bentuk silang dengan diameter lubang 5 mm sebesar 67,82 %.

5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka saran yang dapat dipertimbangkan untuk penelitian berikutnya adalah sebagai berikut:

1. Dilakukan penelitian mengenai penabungan Gas Brown dengan biaya yang murah dan aman.
2. Dilakukan pengujian dengan penambahan permukaan pada elektroda namun tidak dengan cara pengeleman.
3. Penelitian selanjutnya menambahkan sensor arus dan tegangan agar mempermudah pengambilan data.
4. Dilakukan penelitian pengaplikasian gas HHO pada motor bakar agar dapat dimanfaatkan secara luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, Hiskia. 1992. *Elektro Kimia dan Kinetika Kimia*. Bandung : Citra Aditya Bakti
- Afif, M. Thowil, Widhiyanuriyawan, Denny & Khairul Anam. 2017. *Peformansi Electrolyzer Dry Cell pada Beberapa Jenis Material Elektroda dan Jumlah Pelat Netral*. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Malang : Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
- Alimah, Siti & Erlan Dewita. 2008. Pemilihan Teknologi Produksi Hidrogen dengan Memanfaatkan Energi Nuklir. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*. Vol. 15, No. 1.
- Arifin, T., Rudiyanto, B. & Susmiati, Y. 2015. Studi Penggunaan Plat Elektroda Netra *Stainless Steel 316* dan Alumunium terhadap Peforma Generator HHO *Dry Cell*. *Jurnal Rona Teknik Pertanian*. ISSN : 2085-2614.
- Atkins, P W.1999. *Kimia Fisika Jilid 2*. Jakarta : Airlangga
- Brady, J.E. 1999. *General Chemsitry: Principles and Structure*. Jakarta : Binarupa Aksara
- College Of the Dessert. 2001. *Hydrogen Fuel Cell Engines and Related Technologies Rev 0*. Palm Desert: College of the Dessert.
- Emsley, John. 2001. *Oxygen, Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements*. Oxford: Oxford University Press. ISBN 0-19-850340-7.
- Fahrudin, A'rasy . 2015. *Studi Eksperimen Karakteristik Generator HHO Model Wet Cell dengan Elektroda Pelat Berlubang*. Sidoarjo. Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.
- Ghiffari, Yanur Arzaqa. 2013. Studi Karakteristik Generator Gas HHO Tipe Dry Cell dan Wet Cell Berdimensi 80 x 80 mm dengan Penambahan PWM E-3 FF (1kHz). *Jurnal Teknik POMITS*. Vol. 1 No. 1
- 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.
- Indah, Surya. (1996). *Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Waktu Penguapan pada Proses Kostisasi terhadap Kualitas Kain Rayon Viskosa*. Skripsi. Yogyakarta: UII
- Kuncoro, Yanna Hendro. 2011. Kemana Pemanfaatan Sumber Daya Mineral dan Batubara Indonesia?. *Warta Minerba*. Edisi XI, Hal 5.

- repository.ub.ac.id
- Lestari, Dewi Yuanita. 2012. Pemilihan Katalis yang Ideal. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA*. Yogyakarta: UNY
- Marlina, Ena. Wahyudi, Slamet dan Yuliati, Lilis. 2013. Produksi Brown's Gas Hasil Elektrolisis H₂O Dengan Katalis NaHCO₃. *Jurnal Rekayasa Mesin*. Vol. 4, No. 1. ISSN : 0216-468X.
- Morlok, E.K. .1995. Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi. Jakarta: Erlangga.
- Prayitno, Yogi Eko, Widhiyanuriyawan, Denny & Haslinda Kusumaningsih. 2016. *Pengaruh Penambahan Pelat Terhadap Produksi Brown's Gas pada Generator HHO tipe Dry Cell*. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Malang : Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
- Rahayu, Susanto Imam. 1995. *Kinetika Kimia*. Bandung : ITB
- Sari, Tri Puspa, Widhiyanuriyawan, Denny & Haslinda Kusumaningsih. 2016. *Pengaruh Ketebalan Pelat Elektroda dan Fraksi Massa Katalis terhadap Produktivitas Brown's Gas pada Elektrolisis Dry Cell*. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Malang : Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
- Sopandi, Ihsan. Hananto, Yuli dan Rudyanto, Bayu. 2015. Studi Ketebalan Elektroda Pada Produksi Gas HHO (Hidrogen Hidrogen Oksigen) Oleh Generator Hho Tipe Basah Dengan KAtalis NaHCO₃ (Natrium Bikarbonat). *Jurnal Rona Teknik Pertanian*. ISSSN : 2085-2614.
- Sudarmanta, B., Darsopuspito, S., Sungkono, D,. 2016. *Aplication Of Dry Cell HHO Gas Generator Width Modulation On Sinjai Spark Iganation Engine Performance*. International Journal Of Research In Engineering And Technology.
- Supiah, Isana. 2010. Perilaku Sel Elektrolisis Air dengan Elektroda Stainless Steel. *Jurdik Kimia UNY*. Yogyakarta : UNY.
- Syaifuddin, Fahmi, Widhiyanuriyawan, Denny & Khairul Anam. 2017. *Performansi Electrolyzer Dry Cell Pada Beberapa Jenis Material Elektroda Dan Jumlah Pelat Netral*. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Malang : Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
- Takeuchi, Yashito. 2006. *Buku Teks Pengantar Kimia*. Tokyo : Iwanami Shoten.
- 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.

- Wahyudzin, I., & Guntur, H. L. 2012. *Studi Karakteristik Generator Gas HHO Dry Cell dan Aplikasinya pada Kendaraan Bermesin Injeksi 1300 cc*. Jurnal Teknik POMITS 2012, 1-6
- Wijayakusuma, Mustava. 2009. *Mukjizat Air Putih Untuk Kesehatan dan Keantikan*. Data Media. Yogyakarta hal 10-11.
- Yilmaz, Ali Can, Uludamar, Erinc dan Kadir Aydin. 2010. *Effect of Hydroxy (HHO) Gas Addition On Peformance and Exhaust Emissions in Compression Ignition Engines*. *International Journal of Hydrogen Energy*. No II36-II372.
- Yong-Kyun Lee, Sang-Yong Lee, Byung-Hwan Jeong, Hyun-Soo Mok and 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.
- Zumdahl, Steven S. 2010. *Basic Chemstry*. USA : Brooks/Cole .

