

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya mengenai penggunaan *electrolyzer* (generator HHO) untuk menghasilkan gas HHO (*Brown's Gas*) telah banyak dilakukan. Penelitian yang dilakukan oleh Yull Brown pada tahun 1974 dijadikan sebagai dasar dalam penelitian ini. Dalam penelitiannya, Brown melakukan elektrolisis air murni (H_2O) sehingga menghasilkan gas HHO atau yang dinamainya dengan *Brown's Gas* dan dipatenkan olehnya.

Penelitian yang dilakukan oleh Marlina (2012) , dengan variasi persentase katalis $NaHCO_3$ (*Natrium Bikarbonat*) sebesar 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 dan 15% dengan variabel terkontrol tegangan listrik 12 V dan menggunakan jenis elektroda 316L. Dari hasil penelitiannya tersebut didapat bahwa jumlah energi yang digunakan untuk proses elektrolisis dan laju produksi HHO akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya persentase $NaHCO_3$ dengan titik puncak pada persentase katalis 12,5%. Didapat juga bahwa dengan persentase $NaHCO_3$ 10% didapatkan efisiensi tertinggi sebesar 18,954%.

Göllei (2014) melakukan penelitian pengukuran hasil produksi *Brown's Gas* dan meningkatkan performa generator HHO tipe *dry cell*. Pada penelitian tersebut Göllei menggunakan konsentrasi katalis KOH (Kalium Hidroksida) 1 gr/liter air sampai 10 gr/liter air serta dengan menggunakan variasi tegangan 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 dan 15 V. Pelat elektroda yang digunakan adalah jenis *Stainless Steel* 316L. Hasil dari penelitian tersebut adalah jumlah energi yang digunakan dan laju produksi HHO akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi katalis KOH dengan titik puncak konsentrasi katalis 7 gram/liter dan dengan tegangan 12,5 V. Selain itu didapatkan pula nilai MMW (ml/min/W) dari *electrolyzer* semakin meningkat hingga titik puncak pada konsentrasi katalis 5 gram/liter didapatkan nilai MMW sebesar 2,72 (ml/min/W).

Supiah (2010) meneliti tentang perilaku sel elektrolisis air dengan menggunakan elektroda *Stainless Steel*. Dalam penelitiannya, Sopiah menggunakan sampel sumur yang diambil dari Daerah Istimewa Yogyakarta dan Klaten yang diberi label ASKM, ASKR, ASBK dan ASKB dengan penggunaan katalis $NaHCO_3$ sebesar 1, 2 dan 3 gram. Pelat elektroda yang digunakan adalah pelat *Stainless Steel* dengan dimensi tebal 1 mm, lebar 52

mm dan panjang 97 mm. Hasil penelitian yang didapatkan adalah terdapat perbedaan perilaku sel elektrolisis pada masing-masing sistem. Dengan peningkatan konsentrasi elektrolit akan mempengaruhi perubahan temperatur pada selang waktu tertentu. Temperatur tertinggi didapat pada penggunaan konsentrasi elektrolit SKM-2G yakni sebesar 38° C sedangkan temperatur terendah didapat pada penggunaan aquades (air destilasi) murni tanpa penambahan konsentrasi katalis. Dengan penambahan konsentrasi katalis harga pH larutan juga bervariasi pada anoda dan katoda, hal ini dikarenakan terdapat perbedaan kuantitas kation dan anion yang berbeda pada masing-masing sistem.

Lavorante (2014) melakukan penelitian pengaruh jarak antara elektroda, agitasi dan perlakuan *chemical pickling* terhadap larutan elektrolit pada proses elektrolisis air alkali. Pada penelitiannya digunakan *electrolyzer* tipe *wet cell* dengan pelat elektroda Stainless Steel 316L, katalis KOH dengan persentase 35 %, tegangan DC 12,5 Volt, serta penggunaan variasi jarak elektroda 6, 10, 14, 18 dan 22 mm. Hasil dari penelitian yang didapatkan adalah dengan semakin jauhnya jarak elektroda yang digunakan maka *electrical resistance* (hambatan listrik) yang dihasilkan akan semakin besar. Semakin besarnya hambatan listrik maka *current density* yang dihasilkan akan semakin menurun sehingga akan menurunkan performansi *electrolyzer* dalam melakukan proses elektrolisis air. *Current density* tertinggi terdapat pada penggunaan jarak elektroda 6 mm sebesar 0,34 A/cm² dengan nilai hambatan yang dihasilkan 0.16 Ohm.

Arifin (2015) melakukan penelitian tentang studi penggunaan pelat netral *Stainless Steel* 316 dan Aluminium terhadap performa generator HHO *Dry Cell*. Pada penelitian ini Arifin menggunakan arus DC sebagai inputan proses elektrolisis dan jenis larutan yang digunakan adalah AMDK (Air Minum Dalam Kemasan) murni dan aquades murni. Hasil dari penelitian yang didapatkan adalah dengan penambahan pelat netral Aluminium akan meningkatkan performa generator HHO dan menyebabkan jumlah luasan yang bereaksi semakin banyak sehingga volume gas yang dihasilkan semakin meningkat. Selain itu dengan penggunaan elektroda netral juga akan meningkatkan nilai hambatan jenis yang akan memperkecil daya yang digunakan dalam proses elektrolisis. Penggunaan AMDK murni mampu memproduksi gas HHO lebih besar dibandingkan dengan larutan aquades murni. Hal ini dikarenakan pada larutan AMDK murni memiliki unsur elektrolit sebagai zat aktivasi untuk menghantarkan elektron yang dapat mengurai molekul H₂O menjadi gas HHO.

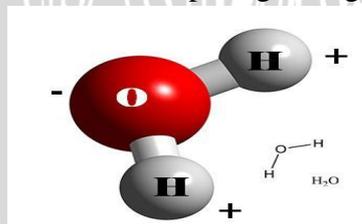
Wiryawan (2013) melakukan penelitian tentang pengaruh variasi arus listrik pada produksi *Brown's gas*. Pada penelitian ini Wiryawan menggunakan variasi fraksi massa katalisator sebesar 0.99, 1.15, 1.31, 1.48, dan 1.64 % AMDK. Variasi arus yang digunakan

sebesar 2, 4, 6, dan 8 A. Hasil dari penelitian yang didapatkan adalah jika semakin besar arus listrik yang digunakan maka akan semakin besar pula volume alir gas HHO dengan produksi gas tertinggi pada variasi persentase katalis 1.31 % dan penggunaan arus listrik 8A. Hal ini dikarenakan semakin tinggi arus listrik yang mengalir maka akan semakin banyak elektron yang mengalir sehingga akan mengakibatkan reaksi pemecahan molekul air berlangsung semakin cepat.

Imamah (2013) melakukan penelitian tentang pengaruh efek variasi bahan elektroda dan jarak antar elektroda terhadap kelistrikan yang dihasilkan melalui proses elektrolisis dalam pembuatan bio-baterai. Pada penelitiannya, Imamah menggunakan limbah buah jeruk (*Citrus sp.*) sebagai larutan elektrolit. Bahan elektroda yang digunakan adalah tembaga (Cu), besi (Fe), seng (Pb), aluminium (Al) dan kuningan. Jarak antar elektroda yang digunakan adalah 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 dan 16 cm. Hasil dari penelitiannya adalah semakin dekat jarak antar elektroda maka kuat arus yang dihasilkan akan semakin tinggi sehingga akan mempengaruhi laju reaksi proses elektrolisis. Dengan menggunakan konfigurasi Cu-Fe dan menggunakan jarak antar elektroda 2 cm dihasilkan kuat arus sebesar 0,29 mA.

2.2 Air

Air merupakan fluida dengan rumus kimia H_2O , dimana hal ini berarti satu molekul air tersusun atas dua atom hidrogen yang secara kovalen berikatan dengan satu atom oksigen. Air memiliki karakteristik tidak berwarna (jernih), tidak memiliki rasa dan tidak berbau pada tekanan 100 kPa (1 bar) dan pada temperatur 273,15 K ($0^{\circ}C$). Molekul air juga disebut sebagai pelarut universal. Hal ini disebabkan karena air memiliki kemampuan untuk melarutkan senyawa ionik maupun non ionik, seperti garam gula dan asam.



Gambar 2.1 Struktur Molekul Air
Sumber: Brady (1999: 124)

Pada Gambar 2.1 dapat diketahui bahwa molekul air terbentuk dari susunan 2 atom hidrogen yang secara kovalen terikat pada 1 atom oksigen. Hal ini terjadi karena atom oksigen memiliki jumlah elektron valensi sebanyak 6 buah sehingga untuk mendapatkan keseimbangan menjadi 8 elektron, maka atom oksigen membutuhkan 2 buah elektron. Dikarenakan atom hidrogen memiliki 1 buah elektron valensi dan agar terjadi keseimbangan

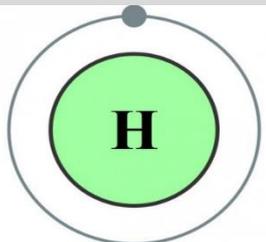
menjadi 2 buah elektron maka atom hidrogen dan atom oksigen saling tarik menarik dan membentuk ikatan molekul air.

Air memiliki beberapa sifat yang menjadikannya sebagai salah satu substansi yang penting bagi kehidupan. Sifat-sifat air dapat digolongkan ke dalam sifat fisis, kimiawi, dan biologis. Sifat fisis dari air didapatkan dalam ketiga wujudnya yaitu bentuk padat sebagai es, cair sebagai air dan bentuk gas sebagai uap air. Sifat kimiawi air yaitu memiliki derajat keasaman (pH) 7 serta memiliki kandungan oksigen terlarut (DO) jenuh pada 9 mg/l. Sedangkan dari sudut pandang biologis, air memiliki sifat-sifat yang penting untuk adanya kehidupan.

Dengan jumlah ketersediaan air yang melimpah di permukaan bumi, merupakan suatu potensi yang besar untuk memanfaatkan air sebagai salah satu energi alternatif untuk mengatasi krisis energi di dunia. Permukaan bumi yang ditutupi oleh air yaitu sekitar 70% dengan jumlah sekitar 1,368 juta km³ (Angel and Wolseley, 1992). Jumlah air yang begitu melimpah ini merupakan sebuah potensi besar dalam rangka pemanfaatan air sebagai energi alternatif. Namun faktanya sampai saat ini hanya sekitar 23% yang telah dimanfaatkan dan diantara jumlah tersebut hanya sekitar 20% yang dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan air sebagai kebutuhan rumah tangga, kota dan industri, sedangkan 80% sisanya hanya dimanfaatkan untuk keperluan irigasi (Hartoyo, 2010).

2.2.1 Hidrogen

Hidrogen merupakan salah satu unsur kimia dengan lambang unsur H dan memiliki nomor atom 1 pada tabel periodik. Pada suhu dan tekanan standar, hidrogen memiliki karakteristik tidak berbau, tidak berwarna, bersifat non-logam, memiliki elektron valensi tunggal, dan merupakan molekul diatomik yang sangat mudah terbakar. Hidrogen memiliki massa atom 1,00794 amu yang menjadikannya sebagai unsur kimia paling ringan dan melimpah dengan persentase kira-kira 75% dari total massa unsur alam semesta apabila dibandingkan dengan unsur-unsur kimia lainnya (Palmer, 1997). Model atom hidrogen dijelaskan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Model Atom Hidrogen
Sumber: Muliawati (2008)

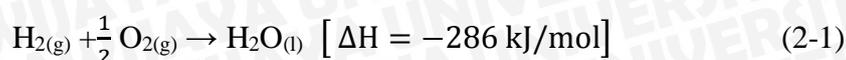
Hidrogen dapat menghasilkan pembakaran yang bersih dan efisien serta aman bagi lingkungan sekitar. Hidrogen juga mampu menghasilkan listrik, dan listrik dapat menghasilkan hidrogen, menciptakan lingkaran energi yang terbarukan dan aman bagi lingkungan. Secara kimiawi, hidrogen berpadu dengan hampir semua unsur, sehingga dapat digunakan sebagai zat kimia industri pada beragam aplikasi selama bertahun-tahun. Walaupun hidrogen merupakan salah satu unsur yang melimpah di bumi, tetapi dalam keadaan secara alamiah sangatlah jarang menemukan hidrogen dalam bentuk molekul diatomik melainkan banyak terdapat pada senyawa air maupun hidrokarbon lainnya. Hal ini dikarenakan karena sifat hidrogen sangat reaktif yang membuat unsur hidrogen mudah tertarik dan bereaksi dengan unsur kimia lain dan membentuk senyawa kimia yang baru. Hidrogen juga dapat dihasilkan dari air melalui proses elektrolisis, namun proses ini secara komersial lebih mahal daripada produksi hidrogen dari gas alam. Pada Tabel 2.1 berikut ditunjukkan sifat fisis dari gas hidrogen.

Tabel 2.1 Sifat Fisis Gas Hidrogen

Sifat Fisis	Hidrogen
Warna	Tak Berwarna
Fase	Gas
Massa Jenis	(0 °C, 101,325 kPa) ; 0,08988 g/L
Massa Jenis Cairan pada 1 liter	0,07 (0,0763 padat) g.cm ⁻³
Titik Lebur	13,99 K ; -259,16 °C ; -434,49 °F
Titik Didih	20,271 K ; -252,879 °C ; - 423,182 °F
Titik Tripel	13,8033 K (-259 °C) ; 7,041 kPa
Titik Kritis	32,938 K, 1,2858 MPa
Kalor Lebur	(H ₂) 0,117 kJ.mol ⁻¹
Kalor Penguapan	(H ₂) 0,904 kJ.mol ⁻¹
Kapasitas Kalor	(H ₂) 28,836 J.mol ⁻¹ . K ⁻¹

Sumber : Rahman (2012)

Gas hidrogen sangatlah mudah terbakar dan akan terbakar pada konsentrasi serendah 4% H₂ di udara bebas. Hidrogen memiliki entalpi pembakaran sebesar -286 kJ/mol. Saat dicampur dengan oksigen dalam berbagai perbandingan, hidrogen meledak seketika disulut dengan api dan akan meledak sendiri pada temperatur 560 °C. Hidrogen terbakar menurut Persamaan (2-1) berikut ini (Carcassi, 2005).

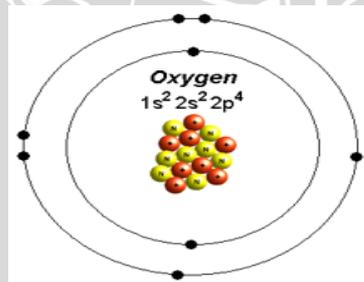


Jika oksigen direaksikan dengan hidrogen maka akan terjadi suatu reaksi pembakaran dan menghasilkan produk berupa air (H₂O). Menurut Persamaan (2-1) diatas dapat diketahui

bahwa hidrogen memiliki entalpi pembakaran sebesar -286 kJ/mol. Api murni hidrogen - oksigen memancarkan cahaya ultraviolet dan tidak terlihat dengan mata telanjang. Dengan demikian, deteksi dari kebocoran hidrogen yang terbakar berbahaya dan membutuhkan detektor api. Apabila ditinjau dari sudut pandang biologis hidrogen merupakan elemen penting bagi kehidupan. Hal ini dikarenakan unsur hidrogen hadir dalam molekul air dan di hampir semua molekul pada makhluk hidup. Namun, hidrogen sendiri tidak memainkan peran yang sangat aktif. Hidrogen tetap terikat atom karbon dan oksigen, sedangkan dalam kimia, hidrogen lebih terlibat aktif, misalnya dalam oksigen, nitrogen dan fosfor.

2.2.2 Oksigen

Oksigen merupakan salah satu unsur kimia berwujud gas yang memiliki karakteristik tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa yang muncul dalam kelimpahan yang besar di bumi serta terperangkap oleh atmosfer. Gas ini pertama kali diisolasi dan diidentifikasi oleh Joseph Priestley pada tahun 1774. Oksigen merupakan unsur yang sangat reaktif dalam keadaan murni dan dapat membuat senyawa dari berbagai elemen lainnya. Nomor atom oksigen adalah delapan, dan diidentifikasi oleh simbol O pada tabel periodik unsur. Oksigen merupakan unsur yang paling melimpah ketiga di alam semesta dengan persentase 20,9% unsur oksigen yang terdapat di atmosfer, sedangkan pada kerak bumi oksigen memiliki persentase 49,2% yang terdapat dalam air dan senyawa lainnya.



Gambar 2.3 Model Atom Oksigen
Sumber: Roger (2013)

Gambar 2.3 memperlihatkan bahwa model struktur atom dari oksigen. Atom oksigen pada umumnya memiliki 8 buah proton dan 8 buah neutron yang terletak pada bagian inti atom. Oksigen juga memiliki 8 buah elektron yang tersebar mengelilingi inti atom dan terbagi menjadi 2 lapisan. Pada lapisan pertama atau yang dekat dengan *nucleus* terdapat 2 buah elektron yang mengelilingi, elektron ini sudah stabil. Pada lapisan atom kedua terdapat 6 buah elektron yang juga mengelilingi inti atom, dengan 4 elektron berpasangan menjadi 2 pasang dan 2 elektron tunggal yang reaktif. Karena kereaktifan dari elektron tersebut, maka

membuat atom yang lain tertarik dan membuat ikatan agar stabil. Sifat fisis oksigen ditunjukkan pada Tabel 2.2 berikut .

Tabel 2.2 Sifat Fisis Gas Oksigen

Sifat Fisis	Oksigen
Massa Atom Relatif	15,9944
Nomor Atom	8
Konfigurasi Elektron	2s ² 2p ⁴
Jari-Jari Atom (nm)	0,074
Jari-Jari X ²⁻ (nm)	0,140
Keelektronegatifan	3,5
Energi Ionisasi I (kJ/mol)	1316
Energi Ionisasi II (kJ/mol)	3396
Densitas (Kerapatan) (g/cm ³)	1,26 (padatan)
Titik Leleh (°C)	-183
Titik Beku (°C)	-219
Potensial Elektroda (V)	+ 0,401

Sumber : Takeuchi (2006)

Dalam temperatur dan tekanan kondisi standar, oksigen membentuk gas yang terdiri dari molekul-molekul yang terdiri dari dua atom oksigen (O₂). Hal ini menunjukkan bahwa oksigen merupakan molekul unsur diatomik. Dalam bentuk ini oksigen tidak berwarna, tidak berbau, gas tawar. Oksigen juga terdapat dalam bentuk ozon alotrop (O₃). Ozon ada di daerah atas atmosfer bumi membentuk lapisan ozon yang membantu melindungi kita dari sinar berbahaya dari matahari.

2.3 *Brown's Gas* (Gas HHO)

Brown's gas atau yang biasa disebut dengan gas HHO merupakan senyawa campuran gas yang terdiri dari molekul diatomik hidrogen (H₂) dan molekul diatomik oksigen (O₂) yang merupakan hasil elektrolisis air. Kedua molekul ini tidak saling berikatan kuat satu sama lain, melainkan hanya bercampur dalam suatu wadah atau tempat dan campuran ini hanya bisa dipisahkan melalui proses lanjutan. *Brown's gas* pertama kali ditemukan dan dikembangkan oleh seorang warga negara Australia yang bernama Yull Brown pada tahun 1947 dan mematenkan hasil penelitiannya tentang elektrolisis yaitu campuran hidrogen dan oksigen dengan nama *Brown's Gas* (Hidayatullah, 2008). Brown menemukan bahwa campuran sempurna molekul gas oksigen dan hidrogen yang didapatinya melalui suatu proses elektrolisis air yang tidak membutuhkan energi listrik terlalu besar, bahkan menghasilkan daya ledakan yang cukup besar yang dapat dimanfaatkan dalam mesin bakar. Pada alat elektrolisis atau yang disebut *electrolyzer*, *Brown's gas* (gas HHO) timbul dan

berada pada permukaan elektroda yang berupa gelembung-gelembung oksigen dan hidrogen yang dihasilkan secara kontinyu dan dikumpulkan dalam satu wadah (Imam, dkk. 2013).

2.3.1 Karakteristik *Brown's Gas*

Brown's gas (gas HHO) terdiri atas gas hidrogen dan oksigen yang memiliki perbandingan komposisi mol 2 : 1. Reaksi pembakaran pada *Brown's gas* pada dasarnya merupakan reaksi terikatnya kembali hidrogen pada oksigen untuk membentuk molekul air (H₂O). Sebagaimana dapat dilihat pada Persamaan (2-2) reaksi kimia berikut :



Persamaan (2-2) tersebut merupakan kebalikan dari persamaan kimia pada elektrolisis air. Jika pada proses elektrolisa untuk memecah molekul air membutuhkan energi, maka sebaliknya pada reaksi oksidasi hidrogen dihasilkan sejumlah energi.

Brown's gas memiliki karakteristik yang lebih ekonomis, efisiensi energi, dan lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan gas *acetylene* dan *Liquid Petroleum Gas (LPG)* saat diaplikasikan pada mesin las. Ketika *Brown's gas* dibakar, maka akan menghasilkan ledakan kecil dan akan mengakibatkan volumenya lebih besar dibandingkan dengan volume campuran hidrogen dan oksigen sebelum dibakar (Yong et.al.,2005).

Brown's gas menghasilkan pembakaran dengan nyala api yang bersih. Hal ini terjadi tidak membutuhkan oksigen di atmosfer, melainkan hanya membutuhkan air murni sebagai produk pembakarannya (Eckman, 2010). *Brown's gas* juga memiliki karakteristik yang berbeda dengan unsur kimia lainnya, yaitu memiliki temperatur nyala api sekitar 130° C tetapi dapat melelehkan sejumlah logam dan keramik.

2.4 Metode Produksi Hidrogen

Gas hidrogen merupakan molekul yang tidak dapat berdiri sendiri secara alami di bumi, sehingga untuk memperolehnya, hidrogen tidak dapat ditambang seperti batu bara, minyak atau sumber energi lainnya, melainkan membutuhkan suatu proses produksi yang baik dan secara kimia, maupun secara termal. Di bawah ini akan dijelaskan mengenai beberapa macam produksi gas hidrogen:

1. *Thermochemical* (Termokimia)

Pada proses produksi hidrogen ini membutuhkan suhu yang sangat tinggi sehingga membutuhkan energi yang cukup besar untuk membangkitkannya. Suhu yang digunakan untuk mengurai air dengan panas dapat diminimalisir dengan proses elektrokimia, yaitu

proses penguraian air dengan panas menggunakan bantuan zat kimia. Dari banyak jenis proses termokimia untuk memproduksi hidrogen, proses iodine - sulfur merupakan suatu proses yang menjanjikan karena hanya memerlukan suhu sekitar 130°C (Kassahar,dkk.,2006).

2. Steam reforming

Metode produksi hidrogen ini dilakukan melalui proses termo-kimia dengan suhu sekitar 200°C dengan zat yang mengandung unsur hidrokarbon misalnya, gas metana, alkohol, biomassa dengan bantuan katalisator menjadi H_2 dan CO . Reaksi tersebut biasa disebut dengan *reforming* yang berlangsung secara endotermis. Selanjutnya reaksi tersebut diteruskan dengan *shift reaction* yang bersifat eksotermis yaitu gas CO yang dihasilkan dari reaksi sebelumnya direaksikan kembali dengan uap air sehingga membentuk CO dan H_2 . (Riberio, 2008)

3. Gasifikasi Biomassa

Proses gasifikasi berlangsung pada sebuah reaktor yang disebut dengan *gasifier*. Proses pemanasan terhadap biomassa akan menyebabkan ikatan antar molekul dalam senyawa yang ada menjadi terpecah dan akan menghasilkan campuran gas yang terdiri dari hidrogen (H_2), karbon monoksida (CO) dan metana (CH_4). Selanjutnya dengan menerapkan proses yang sama layaknya pada *steam reforming*, metana (CH_4) yang dihasilkan akan diubah menjadi gas hidrogen.

Gasifikasi biomassa atau bahan organik memiliki beberapa keunggulan, antara lain menghasilkan lebih sedikit karbon dioksida, sumber bahan baku yang berlimpah dan terbarukan, bisa diproduksi di hampir seluruh tempat di dunia serta biaya produksi yang lebih murah (Lukman. 2009)

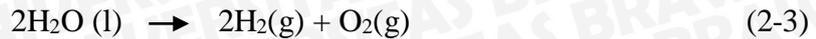
4. Elektrolisis Air

Elektrolisis air merupakan suatu metode pemecahan molekul air (H_2O) menjadi atom hidrogen (H_2) dan atom oksigen (O_2) dengan menggunakan energi listrik. Gas hidrogen akan muncul pada kutub negatif atau katoda sedangkan gas oksigen berkumpul pada kutub positif atau anoda.

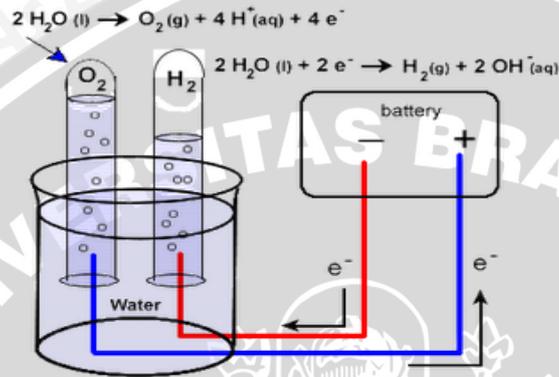
2.5 Elektrolisis Air

Elektrolisis air merupakan proses kimia yang mengubah energi listrik menjadi energi kimia. Proses elektrolisis air bertujuan untuk melepaskan ikatan atom hidrogen dengan atom oksigen yang merupakan struktur kimia dari molekul air (H_2O), sehingga akan didapatkan

gas oksigen dan hidrogen hasil reaksi ini. Reaksi keseluruhan pada proses elektrolisis air ditunjukkan pada Persamaan (2-3) berikut ini.



Reaksi elektrolisis merupakan reaksi reduksi-oksidasi (redoks) yang berlangsung secara tidak spontan. Hal ini berarti reaksi elektrolisis tidak dapat berlangsung jika tidak diberikan sumber energi listrik. Pada saat proses elektrolisis berlangsung energi listrik yang diberikan akan di konversi menjadi energi kimia. Proses ini ditemukan oleh Faraday tahun 1820.



Gambar 2.4 Proses Elektrolisis Air
Sumber: Takeuchi (2006: 204)

Pada Gambar 2.4 dapat dijelaskan bahwa untuk melakukan proses elektrolisis air diperlukan sumber energi listrik searah (DC) yang bersumber dari baterai ataupun *accumulator* yang dialirkan kedalam *electrolyzer*. Karena antar kutub *power supply* (suplei energi listrik) memiliki perbedaan tegangan, maka elektron akan mengalir dari kutub negatif menuju anoda yang tercelup dalam larutan elektrolit. Setelah melewati elektrolit yang akan direaksikan, elektron sampai pada katoda dan diteruskan ke kutub positif dari *power supply*. Dengan menggunakan arus listrik, pada katoda terjadilah proses reaksi dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron yang mengalir masuk ke dalam katoda lalu tereduksi menjadi ion hidroksida (OH⁻) dan gas H₂. Pada anoda dua molekul air lainnya akan mengalami penguraian menjadi gas oksigen dengan melepaskan 4 ion H⁺ serta mengalirkan elektron menuju ke katoda. Akibat reaksi tersebut, ion H⁺ dan ion OH⁻ akan mengalami netralisasi dan membentuk molekul air kembali. Gas H₂ yang timbul dalam katoda dan gas O₂ yang timbul pada anoda hasil dari reaksi elektrolisis tersebut muncul dalam bentuk gelembung - gelembung gas kecil pada permukaan masing – masing elektroda. Gelembung – gelembung kecil yang muncul tersebut akan mengumpul pada sekitar elektroda. Prinsip ini

kemudian dimanfaatkan untuk menghasilkan hidrogen dan hidrogen peroksida (H_2O_2) yang dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan hidrogen.

2.6 Larutan Elektrolit

Larutan elektrolit merupakan larutan yang dibentuk dari zat elektrolit. Sedangkan zat elektrolit sendiri merupakan suatu zat yang larut atau terurai ke dalam bentuk ion-ion dan selanjutnya larutan menjadi konduktor elektrik, ion-ion merupakan atom-atom bermuatan elektrik. Elektrolit dapat berupa air, asam, basa atau berupa senyawa kimia lainnya. Larutan elektrolit memiliki kemampuan untuk menghantarkan listrik. Hal ini untuk pertama kalinya diterangkan oleh Svante August Arrhenius (1859-1927), seorang ilmuwan dari Swedia. Arrhenius menemukan bahwa zat elektrolit dalam air akan terurai menjadi partikel-partikel berupa atom atau gugus atom yang bermuatan listrik. Karena secara total larutan tidak bermuatan, maka jumlah muatan positif dalam larutan harus sama dengan muatan negatif. Atom atau gugus atom yang bermuatan listrik itu dinamai ion. Ion yang bermuatan positif disebut kation, sedangkan ion yang bermuatan negatif disebut anion. Elektrolit dapat digolongkan menjadi dua jenis yaitu elektrolit kuat dan elektrolit lemah. Zat yang ion-ionnya secara sempurna terurai disebut dengan elektrolit kuat, sedangkan zat yang ion-ionnya hanya sebagian yang terurai disebut dengan elektrolit lemah. Contoh larutan elektrolit kuat : HCl , HBr , HI , HNO_3 , dan lain-lain. Contoh larutan elektrolit lemah : CH_3COOH , $\text{Al}(\text{OH})_3$ dan Na_2CO_3 . Michael Faraday juga menemukan bahwa jika arus listrik diberikan dan dialirkan pada larutan elektrolit maka akan terjadi suatu fenomena yang dinamakan elektrolisis yang mampu menghasilkan gas.

Pada penelitian ini, penulis menggunakan air sebagai media pelarut dan natrium bikarbonat (NaHCO_3) sebagai zat terlarutnya untuk menghasilkan elektrolit kuat agar memiliki daya hantar listrik yang baik dan mempercepat reaksi elektrolisis.

2.7 Katalisator

Pada tahun 1902 Ostwald mendefinisikan katalis sebagai substansi yang mengubah laju reaksi tanpa terdapat sebagai produk pada akhir reaksi, dengan kata lain katalisator mempengaruhi laju reaksi tanpa berperan sebagai reaktan maupun produk reaksi. Selanjutnya pada tahun 1941, Bell menjelaskan substansi yang dapat disebut sebagai katalis suatu reaksi adalah ketika sejumlah tertentu substansi ditambahkan maka akan mengakibatkan laju reaksi bertambah dari laju pada keadaan stoikiometri biasa. Jika substansi tersebut ditambahkan pada reaksi maka tidak mengganggu kesetimbangan.

Penggolongan katalis dapat didasarkan pada fasenya yaitu katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis heterogen adalah katalis yang ada dalam fase berbeda dengan pereaksi dalam reaksi yang dikatalisinya, sedangkan katalis homogen berada dalam fase yang sama. Katalis homogen umumnya bereaksi dengan satu atau lebih pereaksi untuk membentuk suatu perantara kimia yang selanjutnya bereaksi membentuk produk akhir reaksi, dalam suatu proses yang memulihkan katalisnya.

Pada penelitian ini, digunakan NaHCO_3 (Natrium Bikarbonat) sebagai katalisator. Dalam penyebutannya biasa disingkat menjadi *bicnat* dan dalam kehidupan sehari-hari biasa disebut dengan *baking soda*. Senyawa ini merupakan kristal yang sering terdapat dalam bentuk serbuk. Natrium bikarbonat merupakan zat yang dapat larut dalam air. Senyawa ini digunakan dalam roti atau kue karena bereaksi dengan bahan lain membentuk gas karbon dioksida, yang menyebabkan roti “mengembang”.

Senyawa natrium bikarbonat (NaHCO_3) diproduksi secara komersial dari soda abu (diperoleh melalui penambangan bijih trona, yang dilarutkan dalam air lalu direaksikan dengan karbon dioksida. Pengendapan senyawa NaHCO_3 (Natrium Bikarbonat) ditunjukkan pada Persamaan (2-3) berikut (Imam, dkk. 2013).



NaHCO_3 (natrium bikarbonat) termasuk kelompok garam yang terbentuk dari asam kuat dan basa kuat dan mempunyai sifat larutan yang netral. Larutan NaHCO_3 (natrium bikarbonat) berasal dari basa kuat NaOH terionisasi sempurna membentuk kation dan anion Na^+ dan OH^- . Dan asamnya berasal dari asam kuat H_2CO_3 terionisasi menjadi H^+ dan HCO_3^- .

2.8 Electrolyzer (Generator HHO)

Electrolyzer merupakan wadah atau tempat terjadinya proses elektrolisis air dimana didalamnya terdapat elektroda (anoda dan katoda) serta larutan elektrolit. Pada *electrolyzer* terjadi reaksi pemisahan hidrogen dan oksigen dari molekul air (H_2O). Proses yang terjadi pada katoda, dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron yang mengalir masuk ke dalam katoda lalu tereduksi menjadi gas H_2 serta ion hidroksida (OH^-). Ion OH^- hasil reaksi air pada katoda bergerak menuju anoda. Di anoda tersebut elektron terlepas menuju permukaan anoda dan bergerak kembali menuju *power supply* akibat terlepasnya elektron tersebut. Dua buah ion OH^- terurai membentuk air dan gelembung oksigen. Gas H_2 yang timbul dalam katoda dan gas O_2 yang timbul pada anoda hasil dari reaksi elektrolisis

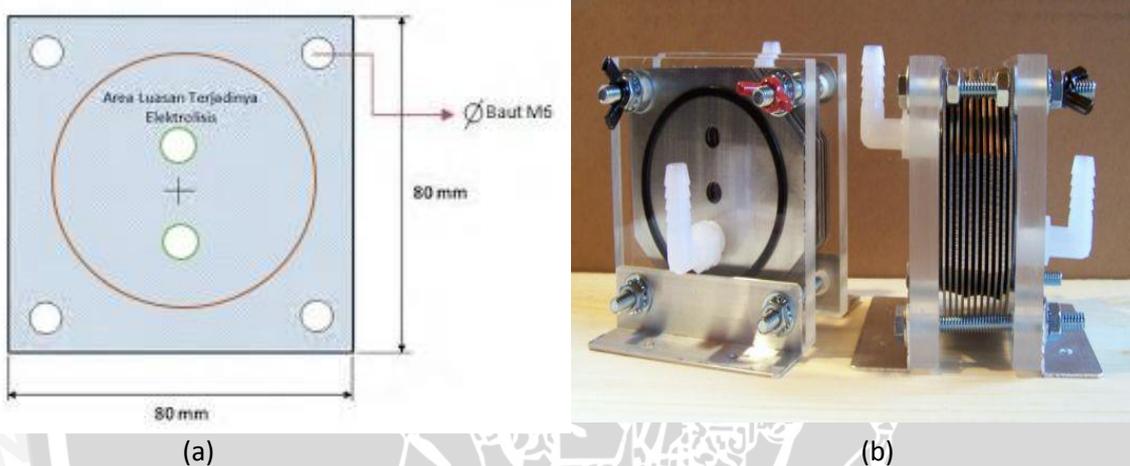
tersebut muncul dalam bentuk gelembung - gelembung gas kecil pada permukaan masing – masing elektroda.

2.8.1 Tipe *Electrolyzer* (Generator HHO)

Secara umum, *electrolyzer* yang digunakan untuk proses elektrolisis air dapat digolongkan menjadi 2 jenis yakni sebagai berikut :

1. Tipe Kering (*Dry Cell*)

Electrolyzer tipe kering (*Dry Cell*) merupakan generator HHO dimana sebagian elektrodanya tidak terendam elektrolit dan elektrolit hanya mengisi celah-celah antara elektroda itu sendiri.



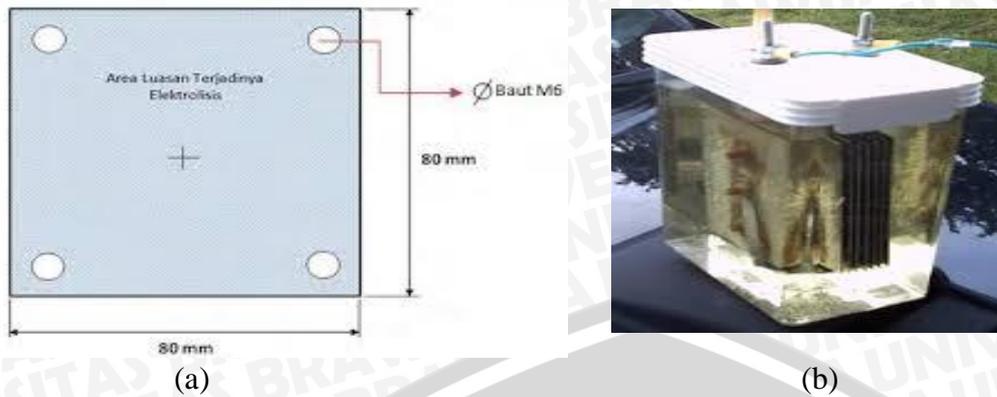
Gambar 2.5 (a) Luasan Permukaan Tercelup Tipe *Dry Cell* ; (b) Konstruksi *Electrolyzer* Tipe *Dry Cell*

Sumber : Ghiffari (2013)

Pada Gambar 2.5 luasan lingkaran pada pelat elektroda yang tercelup air adalah area terjadinya elektrolisis untuk menghasilkan gas HHO, sedangkan bagian luasan yang lainnya tidak tercelup air dan pelat dalam kondisi kering. Luasan yang menjadi area elektrolisis cukup dibatasi dengan gasket (*O-Ring*) atau seal dengan diameter tertentu pada setiap pelat yang digunakan. Selain itu pada setiap pelat terdapat dua lubang dengan diameter tertentu yang berfungsi sebagai saluran gas HHO dan larutan elektrolit yang berada pada bagian atas dan bagian bawah.

2. Tipe Basah (*Wet Cell*)

Electrolyzer tipe basah (*Wet Cell*) merupakan generator HHO dimana semua permukaan elektrodanya tercelup cairan elektrolit yang terdapat di dalam sebuah bejana air. Dengan menggunakan *electrolyzer wet cell* akan menghasilkan gas HHO yang lebih stabil. Untuk perawatan serta perancangan juga relatif mudah dibandingkan dengan tipe *Dry Cell*.



Gambar 2.6 (a) Luasan Permukaan Tercelup Tipe *Wet Cell* ; (b) Konstruksi *Electrolyzer* Tipe *Wet Cell*
 Sumber: Ghiffari (2013)

Pada Gambar 2.6 diperlihatkan bahwa pada *electrolyzer* tipe *wet cell* atau tipe basah, semua area luasan elektrodanya tercelup oleh air untuk proses elektrolisis menghasilkan gas HHO. Sehingga luasan elektrolisis tersebut sama dengan luasan permukaan pelat yang digunakan dalam proses elektrolisis.

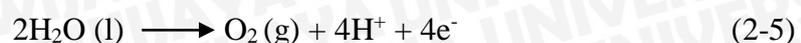
2.8.2 Komponen Penyusun *Electrolyzer Dry Cell*

Dalam proses elektrolisis air dengan menggunakan *electrolyzer* tipe *dry cell* terdapat komponen - komponen pada konstruksi *electrolyzer* yang menunjang proses untuk menghasilkan *Brown's gas*. Komponen-komponen yang terdapat pada *electrolyzer dry cell* yakni sebagai berikut :

1. Elektroda

Elektroda merupakan suatu material yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian atau media lain dari sebuah sirkuit untuk dialiri listrik. Elektroda harus terbuat dari bahan konduktor agar dapat dialiri listrik dengan baik serta harus memiliki konduktifitas listrik yang baik agar dapat dialiri listrik dengan baik. Konduktifitas listrik sendiri merupakan kemampuan suatu bahan atau material untuk dapat dialiri listrik. Semakin besar konduktifitas listrik suatu bahan atau material maka semakin baik pula bahan atau material tersebut bila dialiri listrik.

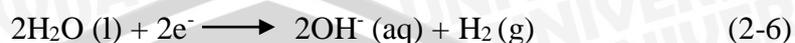
Dalam kasus arus searah (DC) elektroda terbagi menjadi 2 jenis yaitu anoda dan katoda. Anoda merupakan elektroda positif pada sel elektrolisis. Pada Gambar 2.4 memperlihatkan reaksi yang terjadi pada anoda. Reaksi yang terjadi pada anoda adalah :



Pada anoda elektron terlepas menuju permukaan anoda dan bergerak kembali menuju *power supply* akibat terlepasnya elektron tersebut. Dua molekul air akan

mengalami penguraian menjadi gas oksigen dengan melepaskan 4 ion H^+ serta mengalirkan elektron dari anoda menuju ke katoda.

Sedangkan kutub katoda merupakan elektroda negatif pada sel elektrolisis. Pada Gambar 2.4 juga memperlihatkan reaksi yang terjadi pada katoda (kutub negatif) proses elektrolisis air. Reaksi yang terjadi pada katoda dapat dituliskan pada Persamaan (2-6) berikut :



Proses yang terjadi pada katoda, 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 hidroksida (OH^-) yang merupakan hasil reaksi air pada katoda akan bergerak menuju anoda. Gas H_2 yang timbul dalam katoda dan gas O_2 yang timbul pada anoda hasil dari reaksi elektrolisis tersebut muncul dalam bentuk gelembung - gelembung gas kecil pada permukaan masing – masing elektroda.

2. Pelat netral

Pelat netral merupakan pelat yang diletakkan diantara katoda (kutub negatif) dan anoda (kutub positif) dengan jarak tertentu. Pelat ini pada umumnya diaplikasikan pada *electrolyzer* tipe *dry cell*, ukurannya sama besar dengan ukuran dari elektroda tetapi pelat netral tidak disambungkan dengan arus listrik. Dengan penambahan pelat netral maka tegangan antar pelat kan menurun yang nilainya sebanding dengan banyaknya jumlah pelat netral yang digunakan pada *electrolyzer*. Keuntungan dari penggunaan pelat netral pada *electrolyzer* adalah menurunkan panas yang dihasilkan dari proses elektrolisis sehingga efisiensi *electrolyzer* akan semakin tinggi karena energi yang diubah menjadi panas hanya sedikit. Keuntungan lain dengan penambahan pelat netral tersebut adalah semakin banyaknya luasan area elektrolisis untuk menghasilkan gas HHO dan selain itu reaksinya akan lebih stabil.

Akan tetapi penggunaan pelat netral yang terlalu berlebihan akan membuat hambatan yang terlalu besar, hal ini akan menyebabkan elektron yang bergerak dari katoda (kutub negatif) menuju anoda (kutub positif) tidak sampai ke tujuan dan tidak terjadi reaksi elektrolisis.

3. Gasket (Sekat)

Gasket atau sekat berfungsi sebagai pemberi jarak tertentu antar satu pelat dengan pelat yang lain. Luasan area tercelup yang merupakan area terjadinya proses elektrolisis dapat ditentukan sesuai dengan luas permukaan gasket yang digunakan pada konstruksi

electrolyzer. Hal ini dikarenakan luasan area tercelup pada *electrolyzer dry cell* tidak menggunakan keseluruhan dari luas permukaan pelat yang digunakan. Gasket atau sekat yang biasa digunakan adalah karet *O-Ring (O-Ring Seal)* ataupun karet lembaran yang dimensinya dapat ditentukan sendiri sesuai kebutuhan yang diinginkan.

4. *Casing*

Casing pada *electrolyzer* berfungsi sebagai penggabungan pelat netral, pelat elektroda, dan gasket (*O-Ring Seal*). *Casing* yang biasanya terbuat dari bahan kaca, akrilik dan plastik yang bersifat transparan agar gelembung hidrogen dan oksigen hasil reaksi dapat mudah terlihat dan bahan harus mampu menahan panas dari proses elektrolisis.

2.9 Parameter Performansi *Electrolyzer Tipe Dry Cell*

2.9.1 Daya *Electrolyzer (Generator HHO)*

Elektrolisis merupakan proses kimia yang mengubah energi listrik menjadi energi kimia. Dalam proses elektrolisis diperlukan sumber energi listrik (*power supply*) DC yang bersumber dari listrik PLN, *solar panel* maupun baterai (*accumulator*) untuk dialirkan ke *electrolyzer* (generator HHO). Pada penelitian ini, digunakan inverter sebagai power supply yang mengkonversi arus AC yang disediakan PLN menjadi arus DC.

Untuk mendapatkan nilai efisiensi yang tinggi maka penggunaan daya listrik pada proses elektrolisis harus seminim mungkin dengan laju produksi *Brown's gas* yang tinggi. Besar kecilnya daya listrik yang digunakan selama proses elektrolisis berlangsung dapat ditunjukkan pada Persamaan (2-7) berikut (Bueche, 1985).

$$P = V \cdot I \quad [\text{Watt}] \quad (2-7)$$

Keterangan :

P = Daya yang dibutuhkan *electrolyzer* (Watt)

V = Beda Potensial Tegangan (Volt)

I = Kuat arus listrik (Ampere)

Berdasarkan persamaan (2-7) dapat disimpulkan bahwa semakin besar beda potensial maupun semakin besar kuat arus listrik yang digunakan pada proses elektrolisis maka akan memperbesar daya yang dibutuhkan oleh *electrolyzer*. Hal ini dikarenakan peningkatan beda potensial (V) maupun kuat arus (I) berbanding lurus dengan peningkatan daya yang dibutuhkan oleh *electrolyzer* (generator HHO).

2.9.2 Laju Produksi *Brown's Gas* (Gas HHO)

Produk utama yang dihasilkan dari proses elektrolisis air dengan menggunakan *electrolyzer* tipe *dry cell* adalah *Brown's Gas* atau gas HHO. Sehingga untuk mengetahui seberapa baik kinerja dari *electrolyzer* perlu diketahui pula produksi *Brown's gas* atau gas HHO yang dihasilkan oleh *electrolyzer* tersebut. Semakin tinggi laju produksi gas yang dihasilkan maka kita dapat mengetahui performansi terbaik dari *electrolyzer* yang kita gunakan. Laju produksi *Brown's gas* tergantung pada volume yang dihasilkan oleh *electrolyzer* setiap detik. Untuk mengetahui laju produksi *Brown's gas* atau gas HHO dapat ditunjukkan pada Persamaan (2-8) berikut (Sopandi, 2015).

$$Q = \frac{v}{t} \left[\frac{ml}{s} \right] \quad (2-8)$$

Keterangan :

Q = Produktivitas *Brown's Gas* (ml/s)

v = Volume *Brown's Gas* (ml)

t = waktu yang digunakan untuk menghasilkan *Brown's gas* (sekon)

2.9.3 Efisiensi *Electrolyzer* (Generator HHO)

Pengertian efisiensi secara umum adalah perbandingan antara energi yang dihasilkan (output) dengan jumlah energi yang digunakan (input) untuk melakukan proses tersebut. Untuk dapat menentukan efisiensi pada suatu sistem dapat dituliskan pada Persamaan (2-9) berikut (Williams, 2002).

$$\eta = \frac{\text{Energi Berguna}}{\text{Energi yang Digunakan}} \quad (2-9)$$

Pada proses elektrolisis air, efisiensi dapat di didefinisikan sebagai jumlah energi dari produksi *Brown's gas* yang dihasilkan yang digunakan sebagai sumber energi (output) dari proses dibandingkan dengan jumlah energi yang digunakan (input) pada *electrolyzer* untuk melakukan suatu proses elektrolisis air. Untuk mendapatkan efisiensi pada *electrolyzer* atau generator HHO terbaik, sebelumnya kita harus mengetahui terlebih dahulu jumlah energi yang digunakan (input) yang digunakan dalam proses elektrolisis air. Energi yang digunakan dalam proses elektrolisis air dapat ditentukan oleh kuat arus, tegangan, dan nilai hambatan yang digunakan selama proses elektrolisis berlangsung. Untuk mengetahui hubungan kuat

arus, tegangan dan nilai hambatan dalam proses elektrolisis air dapat dilihat pada Persamaan (2-10) berikut ini (Bueche, 195).

$$V = I \cdot R \quad (2-10)$$

Keterangan :

V= Beda Potensial Tegangan (Volt)

I = Kuat Arus Listrik (Ampere)

R = Hambatan (Ohm)

Energi berguna yang terkandung dalam bahan bakar merupakan hasil kali dari volume bahan bakar, massa jenis bahan bakar dan *Lower Heating Value* (LHV) bahan bakar. Maka kita harus mengetahui terlebih dahulu masing-masing nilai tersebut untuk mendapatkan jumlah energi yang terkandung dalam *Brown's gas* (gas HHO). Nilai-nilai yang perlu diketahui terlebih dahulu yaitu diantaranya massa jenis gas HHO dan nilai LHV untuk gas HHO. Massa jenis untuk gas HHO adalah 0,491167 gr/liter. Sedangkan untuk nilai *Lower Heating Value* (LHV) *Brown's Gas* yang memiliki massa 1/9 kali dari massa hidrogen (H₂) adalah sebesar 13,25 kJ/g atau 3812,754 kcal/kg (Imam, dkk. 2013). Secara teoritis efisiensi generator HHO dapat ditunjukkan pada Persamaan (2-11) berikut (Marlina, dkk. 2013).

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

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

$$\eta = \frac{Q_{\text{HHO}} \times \rho_{\text{HHO}} \times LHV_{\text{HHO}}}{P} \times 100\% \quad (2-11)$$

Keterangan :

Q_{HHO} = Volume gas HHO (*Brown's gas*) yang dihasilkan dalam satu detik (L)

LHV_{HHO} = nilai energi terendah yang dibutuhkan agar gas HHO dapat bereaksi

ρ_{HHO} = massa jenis gas HHO (kg/l)

P = Daya yang digunakan untuk proses elektrolisis (Watt)

Dari persamaan (2-11) dapat ditunjukkan bahwa efisiensi generator HHO berbanding terbalik dengan konsumsi daya yang digunakan untuk proses elektrolisis. Semakin besar kenaikan energi listrik yang digunakan untuk proses elektrolisis maka akan menyebabkan penurunan nilai efisiensi *electrolyzer* dikarenakan nilainya berbanding terbalik (Wiryanan,

2013). Semakin kecilnya volume *Brown's gas* yang dihasilkan maka nilai efisiensi yang dihasilkan juga menurun dikarenakan nilainya berbanding lurus.

2.10 Hipotesa

Semakin rapat jarak celah elektroda dengan ketebalan pelat yang sama maka pergerakan elektron dari katoda menuju anoda semakin cepat sehingga mengakibatkan reaksi pemecahan molekul air menjadi berlangsung cepat serta produksi gas HHO semakin meningkat. Semakin besar ketebalan pelat yang digunakan dengan jarak celah yang sama maka hambatan yang dihasilkan akan meningkat sehingga produktivitas *Brown's gas* akan menurun.

