

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Sebelum mengkaji penelitian ini perlu tinjauan dari penelitian-penelitian sebelumnya agar memiliki dasar yang kuat. Penelitian oleh Silaban dkk (2013), meneliti tentang pengaruh celah elektroda dan fraksi massa  $\text{NaHCO}_3$  terhadap produktifitas *Brown's gas*. Hasil produktivitas tertinggi pada celah 1.5 mm. Jarak celah yang lebih dekat menghasilkan *Brown's gas* lebih banyak namun jika terlalu dekat maka produksi tidak efektif. Penambahan katalis dapat menambah produksi *Brown's gas*.

Penelitian tentang pengaruh komposisi campuran katalisator  $\text{NaHCO}_3$  pada air terhadap performa generator hidrogen tipe *dry cell*, elektroda yang digunakan adalah SS 316L dan variasi PH air yaitu: PH 5, 6, 7, 8 serta berat  $\text{NaHCO}_3$  yang ditambahkan sebagai katalis yaitu: 0, 5, 7.5, 10, 12.5, dan 15 gram. Performa terbaik pada ph 8 dimana berat katalis 12.5 gram dengan daya yang dibutuhkan sebesar 452,19 watt, laju produksi gas sebesar 1.330 liter/menit dan efisiensi generator sebesar 12.34 % (Andono dkk, 2014).

Rahadi (2014) meneliti tentang pengaruh penambahan gas  $\text{H}_2$  dari HHO generator tipe *dry cell* dengan memvariasikan katalis yang berupa KOH sebanyak 1, 2, dan 3 gram yang dilarutkan dalam 500 ml aquades. Dengan fraksi massa katalis tersebut yang sebesar 1 %, 3 %, dan 7.4 % dilakukan pengujian pengaruh  $\text{H}_2$  terhadap performa Honda Grand 100 cc. Hasil dari pengujian katalis 3 % menaikkan efisiensi termal sebesar 10.6 % dan menurunkan konsumsi bahan bakar. Sedangkan untuk hasil torsi dan bmep terbaik adalah penggunaan katalis 7 % serta menghasilkan volume  $\text{H}_2$  terbesar.

Chakrapani (2011) menyatakan bahwa pada elektrolisis dengan menggunakan air murni tanpa tambahan katalis akan menyebabkan konduktor listriknya rendah dan produksi *Brown's gas* rendah. Oleh karena itu penggunaan larutan elektrolit yaitu campuran air dan katalis akan meningkatkan konduktivitas sehingga produksi *Brown's gas* tinggi. Sedangkan menurut Laksono dkk (2013) menyatakan bahwa katalis dapat menurunkan energi aktivasi reaksi elektrolisis sehingga reaksi lebih cepat.

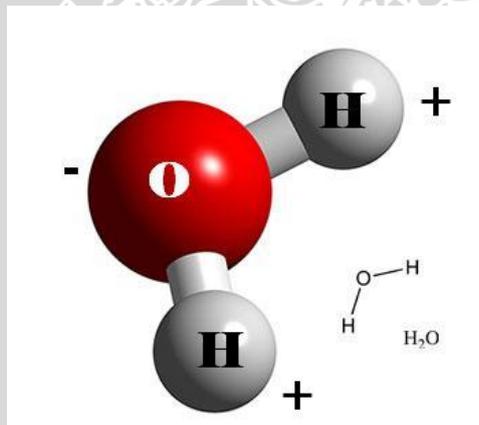
Arifin dkk (2015) melakukan penelitian tentang penggunaan plat netral *Stainless steel* 316 dan Aluminium terhadap performa Generator HHO *Dry Cell*. Hasilnya menunjukkan untuk plat netral aluminium dapat meningkatkan nilai performa sedangkan untuk plat

*Stainless steel* 316 dapat meminimalisir persentase *losses energy*. Karakteristik sifat dari plat elektroda netral akan mempengaruhi performa Generator HHO karena bahan konduktor penghantar listrik berpengaruh oleh sifat konduktifitas thermal dan korosifitasnya.

## 2.2 Air (H<sub>2</sub>O)

Air merupakan bagian terpenting dan kebutuhan pokok bagi kehidupan manusia. Air diyakini merupakan tanda awal adanya kehidupan disuatu planet. Sebagai sumber kehidupan, air dimanfaatkan oleh manusia untuk aktivitas sehari-hari antara lain agrikultur, industri, pembangkit listrik, transportasi maupun untuk rumah tangga. Sumber yang begitu melimpah mencapai 70 % menutupi permukaan bumi (U.S Department of Energy, 2014).

Air adalah gabungan dari senyawa oksigen dan hidrogen dengan rumus kimia H<sub>2</sub>O, dimana air tersusun dari dua atom Hidrogen berikatan dengan satu atom Oksigen secara kovalen. Pada kondisi standar sifat air dapat dikatakan tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa dan memiliki pH normal. Dengan sifat fisik dan kimia yang khas, air mampu melarutkan berbagai zat kimia. Gambar di bawah ini memperlihatkan bentuk struktur molekul air:



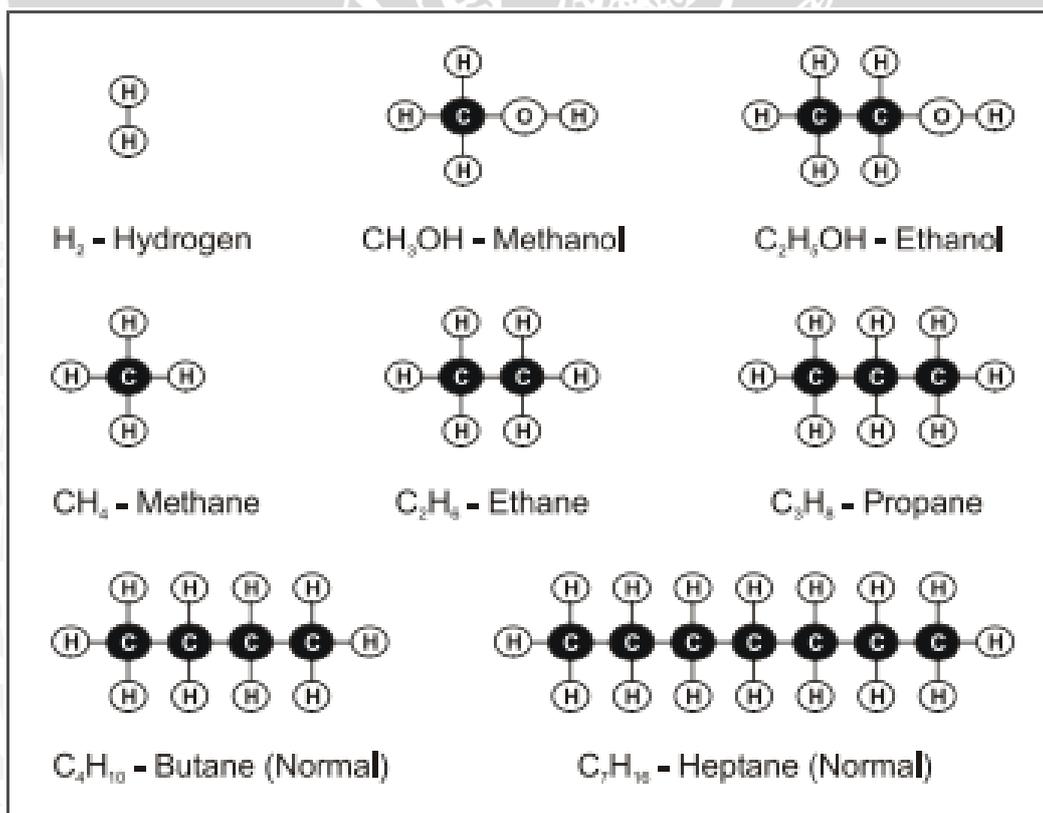
Gambar 2.1 Struktur Molekul Air  
Sumber: Brady (1999: 124)

### 2.2.1 Hidrogen

Hidrogen merupakan suatu zat yang melimpah dan tersebar luas tak hanya di bumi tetapi juga diseluruh alam semesta ini, kurang lebih 75% massa alam semesta adalah hidrogen. Namun hidrogen bukan sumber energi (*energy source*) melainkan pembawa energi (*energy carier*) karena hidrogen tidak dapat berdiri sendiri atau tidak dapat langsung ditambang seperti energi fosil lainnya, tetapi hidrogen didapatkan dari proses-proses tertentu. Hidrogen dapat juga membantu mengatasi kesulitan akan energi dan tantangan dalam energi terbarukan (Ursua dkk, 2012).

Menurut KBBI, hidrogen adalah gas tidak berwarna, tidak mengeluarkan bau dan tidak ada rasanya, tetapi tidak beracun dengan rumus kimia  $H_2$ . Dalam tabel periodik hidrogen adalah unsur pertama yang memiliki simbol H dan nomor atom 1. Pada tabel periodik nomor atom hidrogen adalah 1 dan berat atom 1.00797 g/mol. Selain itu, gas hidrogen juga mudah terbakar karena sifat fisis yang dimiliki. Akibatnya secara kasat mata gas hidrogen tidak dapat dideteksi sehingga jika terdapat kebocoran gas maka sulit untuk mendeteksinya karena gas hidrogen tidak berbau dan terlihat.

Sifat dari hidrogen yang mudah terbakar itu mengakibatkan ledakan jika terkena sumber panas (api). Gas hidrogen memiliki konsentrasi 4% hidrogen ( $H_2$ ), jika di udara bebas akan mengalibatkan gas hidrogen terbakar. Ketika dicampur dengan oksigen dalam berbagai perbandingan, hidrogen meledak seketika disulut dengan api dan akan meledak sendiri pada temperatur  $560\text{ }^\circ\text{C}$ . Lidah api hasil pembakaran hidrogen-oksigen murni memancarkan gelombang ultraviolet dan hampir tidak terlihat dengan mata telanjang. Karakteristik lainnya dari api hidrogen adalah nyala api cenderung menghilang dengan cepat di udara, sehingga kerusakan akibat ledakan hidrogen lebih ringan dari ledakan hidrokarbon.



Gambar 2.2 Struktur kimia dari hidrogen dan unsur lain  
Sumber : College of the Desert (2001: 1-3)

Sifat-sifat fisik dan kimia dari hidrogen dapat dilihat dari tabel di bawah ini:

Tabel 2.1 *Properties of Hydrogen*

<i>Characteristic</i>	<i>Value</i>
<i>Vapor Density (at 68 F; 20 °C, 1 atm)</i>	0.005229 lb/ft <sup>3</sup> (0.08376 kg/m <sup>3</sup> )
<i>Liquid Density (at normal boiling point, 1 atm)</i>	4.432 lb/ft <sup>3</sup> (70.8 kgm <sup>3</sup> )
<i>Higher Heating Value (at 25 °C and 1 atm)</i>	61,000 Btu/lb (141.86 kJ/g)
<i>Lower Heating Value (at 25 °C and 1 atm)</i>	51,500 Btu/lb (119.93 kJ/g)
<i>Energy Density (LHV) (gas at 1 atm &amp; 15 °C)</i>	270 Btu/ft <sup>3</sup> (10,050 kJ/m <sup>3</sup> );
<i>Flashpoint</i>	< -423 °F (< -253 °C; 20 K)
<i>Flammability Range</i>	 <p>A diagram showing the flammability range of hydrogen. It consists of a horizontal bar with a gradient from light to dark. Above the bar, a double-headed arrow spans the width and is labeled 'Flammable'. Inside the bar, there is a small flame icon and the word 'Hydrogen'. Below the bar, the numbers '4%' and '75%' are positioned at the left and right ends respectively, indicating the concentration range.</p>
<i>Autoignition Temperature</i>	1085 °F (585 °C)
<i>Octane Number</i>	130+ ( <i>learn burn</i> )

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

## 2.2.2 Oksigen

Oksigen atau zat asam adalah unsur kimia dalam sistem tabel periodik yang mempunyai lambang O dan nomor atom 8. Oksigen merupakan unsur golongan kalkogen dan dapat dengan mudah bereaksi dengan hampir semua unsur lainnya (utamanya menjadi oksida). Oksigen memiliki sifat fisik yaitu dua atom. Unsur ini berikatan menjadi ikatan dioksigen, yaitu senyawa gas diatomik dengan rumus O<sub>2</sub> yang tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau. Oksigen merupakan unsur paling melimpah ketiga di alam semesta berdasarkan massa dan unsur paling melimpah di kerak Bumi. Gas oksigen diatomik mengisi 20.9% volume atmosfer bumi (Streblau dkk, 2014).

Oksigen lebih larut dalam air daripada nitrogen. Air mengandung sekitar satu molekul O<sub>2</sub> untuk setiap dua molekul N<sub>2</sub>, dibandingkan dengan rasio atmosferik yang sekitar 1:4. Kelarutan oksigen dalam air bergantung pada suhu. Pada suhu 0 °C, konsentrasi oksigen dalam air adalah 14.6 mg·L<sup>-1</sup>, manakala pada suhu 20 °C oksigen yang larut adalah sekitar 7.6 mg·L<sup>-1</sup>. Pada suhu 25 °C dan 1 atm udara, air tawar mengandung 6.04 mL oksigen per liter, manakala dalam air laut mengandung sekitar 4.95 mL per liter. Pada suhu 5 °C, kelarutannya bertambah menjadi 9.0 mL (50% lebih banyak daripada 25 °C) per liter untuk air murni dan 7.2 mL (45% lebih) per liter untuk air laut. Oksigen mengembun pada 90.20 K (-182.95 °C, -297.31 °F), dan membeku pada 54.36 K (-218.79 °C, -361.82 °F) (College of the Desert, 2001).

Oksigen cair maupun oksigen padat berwarna biru langit. Oksigen cair dengan kadar kemurnian yang tinggi biasanya didapatkan dengan distilasi bertingkat udara cair. Oksigen

cair juga dapat dihasilkan dari pengembunan udara, menggunakan nitrogen cair dengan pendingin. Oksigen merupakan zat yang sangat reaktif dan harus dipisahkan dari bahan-bahan yang mudah terbakar.

### 2.3 Metode Produksi Hidrogen

Hidrogen dapat dihasilkan dari berbagai sumber antara lain biomassa, air, angin, surya, panas bumi (*geothermal*), nuklir, batu bara, dan gas alam (*natural gas*). Keanekaragaman sumber produksi hidrogen menjadikan hidrogen sebagai pembawa energi (*energy carrier*) dan memungkinkan produksi hidrogen di seluruh dunia (*U.S Department of Energy*, 2014).

Berikut macam-macam metode produksi hidrogen:

#### 1. Proses Termokimia (*Thermochemical Processes*)

Proses termokimia adalah proses yang menggunakan panas dan reaksi kimia untuk menghasilkan hidrogen dari material organik. Proses termokimia bisa didapatkan dari bermacam sumber, seperti gas alam, batu bara, atau biomassa untuk menghasilkan hidrogen dari struktur molekulnya. Pada proses lainnya, panas dikombinasikan dengan siklus kimia tertutup, adapun yang merupakan proses termokimia antara lain:

##### - Gasifikasi batu bara (*Coal gasification*)

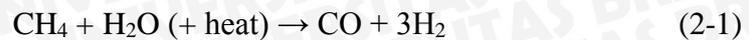
Gasifikasi batu bara adalah metode penghasil hidrogen yang didapatkan dari proses pengolahan batu bara. Gasifikasi batu bara dapat menghasilkan hidrogen dan tenaga listrik dalam jumlah besar, hal ini dilihat dari ketersediaan batubara yang masih banyak dan biaya pengolahan yang relatif rendah. Namun, batu bara menghasilkan CO<sub>2</sub> sebagai produk sampingan yang dapat menyebabkan polusi udara. Hal demikian dapat diatasi dengan adanya mesin konversi batu bara yang menghasilkan listrik dari "*clea coal*" (batu bara bersih). Selain itu, penggunaan batu bara untuk produksi hidrogen dapat menyebabkan ketersediaan batubara tipis dan lama-kelamaan akan habis (Turner, 2004).

##### - *Natural gas reforming*

Hidrogen juga dapat diproduksi dari gas alam (*natural gas*) yang didapatkan langsung dari sumber alam yaitu dari gas alam dengan menggunakan proses penguapan bertekanan tinggi (*high-temperature*) yaitu *steam methane reforming*. Tercatat 95% produksi hidrogen di U.S menggunakan metode ini. Proses ini bertemperatur 700°C–1000°C dan tekanan 3–25 bar (1bar= 14.5 psi) untuk memproduksi hidrogen dari sumber metana, seperti gas alam. Persamaan reaksi

*steam methane reforming* dapat dituliskan pada reaksi persamaan 2-1 (U.S Department of Energy, 2014).

Reaksi *Steam methane reforming*:



- *Biomass gasification*

*Biomass gasification* adalah proses produksi hidrogen yang menggunakan panas, uap (*steam*), dan oksigen untuk mengubah biomassa menjadi hidrogen dan produk lain. Biomassa merupakan sumber energi organik (*renewable organic*) dimana termasuk sisa hasil pertanian seperti tongkol jagung dan jerami, sampah organik, dan limbah hewan (*animal wastes*). Proses ini terjadi pada temperatur tinggi (>700°C), tanpa pembakaran, dengan tambahan oksigen dan menghasilkan karbon monoksida, hidrogen, dan karbon dioksida. Reaksi gasifikasi tersebut dapat dituliskan pada persamaan 2.2 (U.S Department of Energy, 2014).

*Simplified example reaction*



2. Proses Biologi (*Biological Processes*)

Metode produksi hidrogen ini berasal dari reaksi biologis mikroba antara lain bakteri dan mikroalga dengan penambahan air dan cahaya matahari atau bahan organik. Bahan-bahan organik dapat berupa bahan baru atau hasil limbah. Teknologi ini berpeluang untuk sumber hidrogen yang berkelanjutan (*sustainable*). Berikut merupakan proses biologis (*Biological processes*) antara lain:

- *Microbial biomass conversion*

*Microbial biomass conversion* memanfaatkan mikroba sebagai bahan untuk menghasilkan hidrogen. Dasar dari sistem ini adalah proses fermentasi mikroorganisme seperti bakteri untuk mendapatkan hidrogen. Proses ini menggunakan *microbial electrolysis cells* (MECs) dimana alat untuk mendapatkan energi dan produksi proton dari pemecahan mikroba. Sistem yang dipadukan dengan arus listrik rendah untuk produksi hidrogen. Teknologi ini tergolong teknologi baru dan masih dikembangkan untuk mencari efisiensi karena material yang dipakai relatif mahal.

- *Photobiological*

*Photobiological* merupakan proses produksi hidrogen dengan menggunakan mikroorganisme dan cahaya matahari untuk mencampurkan air dengan bahan organik.

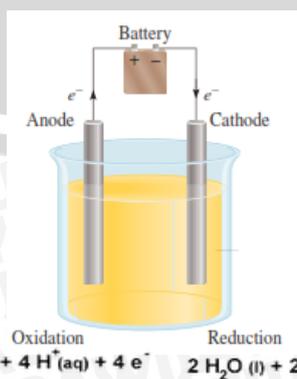
### 3. Photoelectrochemical (PEC)

Suatu metode produksi hidrogen dari air dengan menggunakan cahaya matahari secara langsung dan memakai material semikonduktor. Bahan semikonduktor tersebut akan menyerap energi matahari untuk memecah molekul menjadi hidrogen dan oksigen.

### 4. Elektrolisis Air

Elektrolisis air adalah sebuah alat elektrokimia (*electrochemical*) yang mengkonversi elektrik dan energi termal menjadi sumber energi kimia berupa *fuel* (hidrogen). Elektrolisis merupakan teknologi untuk produksi hidrogen dari sumber energi terbarukan. Proses elektrolisis menggunakan listrik untuk memisahkan air ( $H_2O$ ) menjadi hidrogen dan oksigen. Reaksi pemisahan hidrogen dan oksigen terjadi di sebuah alat yang disebut elektroliser seperti pada Gambar 2.3. Sebuah alat elektroliser dapat digunakan baik skala kecil maupun skala besar (*U.S Department of Energy, 2014*).

Proses yang terjadi merupakan sebuah sel elektrolisis yang terurai berdasarkan dasar termodinamika. Sel elektrolisis beroperasi pada temperatur dan tekanan konstan, dalam prosesnya membutuhkan energi reaksi elektrolisis air yaitu proses perubahan entalpi ( $\Delta H$ ) (Ursua dkk, 2012). Pada sel elektrolisis terdapat dua elektroda yang dialiri arus dari sumber tegangan (*power supply*) yaitu elektroda negatif (katoda) dan positif (anoda). Arus mengalir dari anoda menuju katoda untuk mengalirkan elektron dari arah sebaliknya diluar sirkuit sehingga pada anoda terjadi pemecahan menjadi oksigen, ion hidrogen, elektron negatif. Kemudian pada katoda menarik ion hidrogen dan dikombinasikan dengan elektron negatif menjadi senyawa hidrogen ( $H_2$ ). Untuk reaksi ini dapat dituliskan pada persamaan 2-3 (*U.S Department of Energy, 2014*).



Gambar 2.3 Proses Elektrolisis  
Sumber : (Chang, 2010:866)

## 2.4 *Brown's Gas*

Awal mula ditemukan cikal bakal bahan bakar dari air sudah sejak tahun 1805 oleh Isaac de Rivaz seorang peneliti asal Swiss dengan mendesain *Internal Combustion engine* berbahan bakar air yang didapat dari sistem elektrolisis air secara sederhana. Pada tahun 1875 oleh Jules Gabriel Jules Verne juga menemukan teknik elektrolisis, Rudolf A. Erren juga berhasil penelitian dengan menggunakan bahan bakar air sebagai pengganti bahan bakar fosil pada tahun 1930. Penelitian tentang bahan bakar air terus berlanjut oleh berbagai ilmuan sampai pada tahun 1974 seorang warga negara Australia bernama Yull Brown mematenkan hasil penelitian elektrolisis yaitu campuran hidrogen dan oksigen dengan nama *Brown's Gas* (Hidayatullah, 2008).

*Brown's gas* didapat dengan cara memecah air dengan listrik dan penambahan katalis sehingga menghasilkan dua hidrogen dan satu oksigen (Hidrogen-hidrogen-oksigen) atau yang sering dikenal dengan HHO (*Oxyhydrogen*). Sama dengan hidrogen, *Brown's gas* juga memiliki karakteristik mudah meledak jika terkena api, tidak berbau dan berwarna. Proses kimia *Brown's gas* dapat dituliskan pada persamaan 2-4 tanpa tampahan katalis dan persamaan 2-5 dengan tambahan katalis (Chakrapani, 2011).

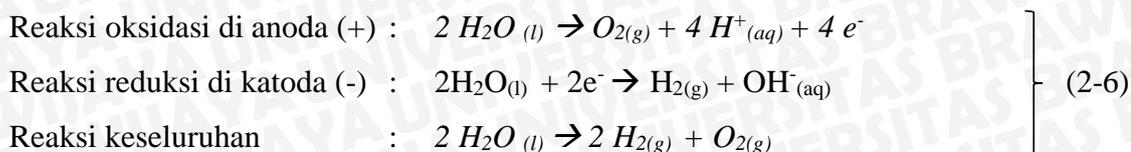


*Brown's gas* dapat terbakar di dalam ruang bakar pada temperatur nyala api. Untuk stoikiometri campuran *Brown's gas* di motor bakar pada kondisi tekanan atmosfer memiliki nyala api *Brown's gas* sampai 570°C (1065°F). Energi yang dibutuhkan oleh *Brown's gas* untuk pembakaran pada ruang motor bakar minimal 20 μJ. Pada kondisi temperatur dan tekanan normal, volume *oxy-hydrogen gas* dapat terbakar antara 4 dan 94%. Selain itu, ketika pembakaran *Brown's gas* juga dapat dicampur dengan uap air maka menghasilkan energi. Temperatur maksimal yang dihasilkan *Brown's gas* mencapai 2800°C pada kondisi stoikiometri campuran dan 700°C nyala api hidrogen di udara (Milind S, 2011).

## 2.5 Generator HHO

Generator HHO adalah alat yang dirancang untuk memproduksi hidrogen dan oksigen dengan metode elektrolisis sehingga gas yang dihasilkan campuran 2 molekul hidrogen dan 1 molekul oksigen atau disebut dengan *Brown's gas*. Proses ini membutuhkan arus listrik yang dihubungkan melalui elektroda sehingga terjadi reaksi kimia pada air. Generator HHO memiliki elektroda positif (anoda) dan negatif (katoda), pada pelat positif menghasilkan

oksigen dan pelat negatif menghasilkan hidrogen (Chakrapani, 2011). Sehingga terjadi reaksi di masing-masing pelat yang dapat dituliskan pada persamaan 2-6 (Mang, 2013).



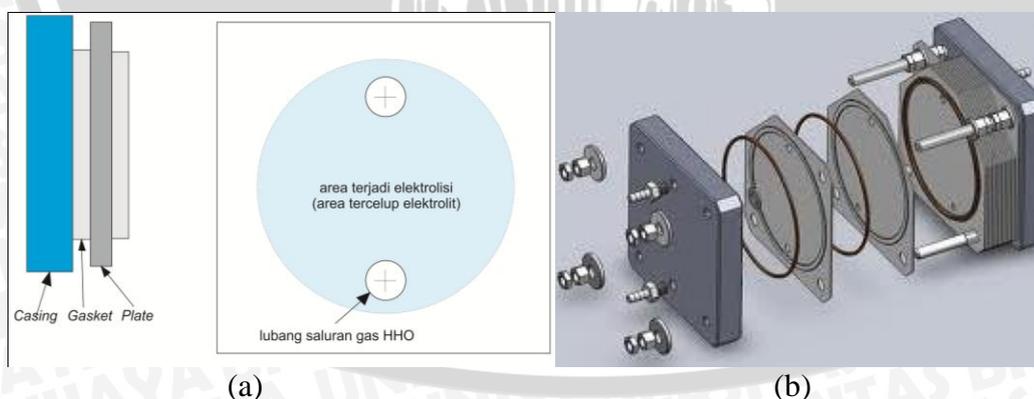
### 2.5.1 Klasifikasi generator HHO

Secara umum terdapat dua tipe generator HHO, yaitu tipe kering (*dry cell*) dan tipe basah (*wet cell*). Keduanya memiliki karakter masing-masing yakni sebagai berikut:

#### 1. Tipe Kering (*dry cell*)

Pada generator HHO tipe *dry cell*, elektroda yang tercelup larutan elektrolit hanya sebagian yaitu melalui lubang dan celah pelat seperti Gambar 2.4a. Tipe *dry cell* umumnya berbentuk *square cell* yang terdiri dari sepasang elektroda, pelat netral yang berada di antara elektroda, dan *seal* atau karet sebagai celah pelat (Mang, 2013:10). Keuntungan pemakaian tipe *dry cell* antara lain:

- Desain *dry cell* lebih murah dan instalasinya lebih mudah
- Air yang digunakan lebih sedikit karena proses elektrolisis terfokus pada area diantara lempengan
- Arus listrik yang dibutuhkan lebih rendah, karena selalu terjadi sirkulasi antara air panas dan dingin yang melalui pelat
- Waktu produksi lebih cepat karena area elektrolisis terfokus pada celah pelat



Gambar 2.4 Tipe *dry cell*  
Sumber : (Mang, 2013:10)

#### 2. Tipe Basah (*wet cell*)

Pada tipe *wet cell*, semua bagian elektroda terendam larutan elektrolit di dalam sebuah bejana. Tipe dapat memiliki berbagai bentuk antara lain *circular cell* seperti

Gambar 2.5a, *square*, lilitan, dan batang. Ciri-ciri dari tipe ini adalah gas yang dihasilkan lebih banyak namun daya yang dibutuhkan lebih besar dan waktu proses pemcahan lebih lama karena proses elektrolisis terjadi pada seluruh cairan elektrolit (Mang, 2013:10).



(a)

(b)

Gambar 2.5 Tipe *wet cell*  
Sumber : (Mang, 2013:10)

### 2.5.2 Bagian-bagian Generator HHO tipe *dry cell*

Generator HHO tipe *dry cell* memiliki komponen-komponen penting untuk menghasilkan *Brown's gas* antara lain sebagai berikut:

#### 1. Pelat Elektroda

Elektroda pada generator HHO merupakan salah satu bagian terpenting yang berfungsi untuk menghantarkan arus listrik guna proses elektrolisis. Material dari elektroda harus dari bahan yang memiliki konduktivitas listrik dan ketahanan terhadap korosi yang baik karena mempengaruhi produktivitas. Sifat tersebut dimiliki oleh material titanium dan logam mulia, namun material tersebut memiliki harga yang relatif mahal dan sulit ditemui dipasaran (Andono, 2014). Oleh karena itu, dicari material yang sifatnya mendekati yaitu *stainless steel* untuk material pelat elektroda. Karena logam paduan *stainless steel* memiliki sifat konduktivitas termal dan ketahanan terhadap korosi yang baik dibandingkan dengan logam paduan lain.

#### 2. Pelat netral

Pelat netral memiliki bahan dan dimensi yang sama dengan pelat elektroda. Penambahan pelat netral bertujuan untuk menambah jumlah luasan yang tercelup sehingga *Brown's gas* yang dihasilkan meningkat (Arifin, 2015).

### 3. Karet *o-ring* atau *gasket*

Karet *o-ring* atau *gasket* digunakan untuk pembatas atau jarak celah antara pelat elektroda dan netral. Fungsi dari bahan ini adalah menghubungkan pelat elektroda, pelat netral, dan *casing* untuk terjadinya proses pemisahan molekul hidrogen dan oksigen di dalam jarak celah tersebut.

### 4. *Casing*

*Casing* generator HHO berfungsi sebagai penggabungan pelat elektroda, karet *o-ring*, dan pelat netral. *Casing* biasanya terbuat dari bahan kaca, akrilik, dan plastik yang bersifat transparan agar *bubbler* HHO dapat terlihat dan bahan harus mampu menahan panas dari proses elektrolisis.

## 2.5.3 Parameter Performa Generator HHO

### 2.5.3.1 Daya yang Dibutuhkan Generator HHO

Daya listrik (*Electrical Power*,  $P$ ) didefinisikan sebagai jumlah energi yang diserap atau dihasilkan dalam sebuah sirkuit atau transfer energi. Satuan unit dari daya adalah watt (W) dengan kata lain daya listrik adalah tingkat konsumsi energi dalam sebuah sirkuit atau rangkaian listrik. Pada penelitian ini sirkuit listrik berupa anoda dan katoda yang bagian dari instalasi generator HHO, daya yang dibutuhkan berupa besar konsumsi energi yang dibutuhkan untuk memproduksi *Brown's gas*.

*Power* pada sebuah sirkuit elektrik menghasilkan produk berupa perbedaan potensial (V) dan kuat arus (I). Berdasar dengan Hukum *Ohm* yang berbunyi, “Besarnya arus listrik (I) yang mengalir melalui sebuah penghantar atau konduktor akan berbanding lurus dengan beda potensial/tegangan (V) yang diterapkan kepadanya dan berbanding terbalik dengan hambatannya (R)”. Maka secara matematis Hukum *Ohm* dapat dinyatakan pada Persamaan 2-7 sebagai berikut:

$$V = I.R \quad ; \quad I = V/R \quad ; \quad R = V/I \quad (2-7)$$

Sumber: Bird (2007: 13)

Dimana,  $V$  adalah tegangan atau beda potensial dengan satuan unit *volt* (V),  $I$  adalah arus listrik yang satuan unitnya *Ampere* (A), sedangkan  $R$  merupakan hambatan atau resistensi dengan satuan *Ohm* ( $\Omega$ ). Sehingga daya listrik (*Electrical Power*) dapat dinyatakan besarnya berbanding lurus dengan tegangan dan besar arus listrik dalam satuan *watt* atau  $W$  yaitu:

$$P = V.I \quad [\text{watt}] \quad (2-8)$$

Berdasar Hukum *Ohm*,  $V = IR$  dapat disubstitusikan ke Persamaan (2-8) maka menjadi Persamaan 2-9 dan 2-10.

$$P = (IR) \times I$$

$$P = I^2 R \text{ [watt]} \quad (2-9)$$

atau dapat juga seperti,

$$P = V \times \frac{V}{R}, \quad P = \frac{V^2}{R} \quad \text{[watt]} \quad (2-10)$$

Sumber: Bird (2007: 15)

### 2.5.3.2 Laju Produksi *Brown's gas*

Untuk mendapat nilai laju produksi *Brown's gas* terlebih dahulu harus mengetahui volume *Brown's gas* yang dihasilkan. Pada penelitian ini pengukuran volume dilakukan secara sederhana yaitu menggunakan bantuan gelas ukur yang dipasang sesuai dengan Gambar (3.17). Prinsip dari pengukuran ini yakni dengan mengalirkan *Brown's gas* melalui selang dari kotak *bubbler* ke gelas ukur yang dipasang terbalik dan di masukkan ke dalam wadah berisi air. Kondisi air di dalam gelas ukur dan wadah memiliki tekanan yang sama yaitu 1 *atm*, maka permukaan air di gelas ukur dan wadah memiliki ketinggian sama rata-rata air. *Brown's gas* yang telah diproduksi akan terus mengisi gelas ukur dan mendorong air yang ada di dalamnya. Selisih ketinggian air di dalam gelas ukur dan di luarnya menunjukkan volume per satuan waktu dari *Brown's gas*, prinsip ini mengacu pada prinsip manometer. Sehingga untuk menghitung laju produksi gas dapat dilihat dari persamaan 2-11 sebagai berikut:

$$Q = \frac{v \text{ (ml)}}{t \text{ (s)}} \quad (2-11)$$

Dimana :  $Q$  = Debit *Brown's gas* (ml/s)  
 $V$  = Volume *Brown's gas* dalam gelas ukur (ml)  
 $t$  = lamanya waktu produksi *Brown's gas* (s)

### 2.5.3.3 Efisiensi

Pada umumnya efisiensi merupakan perbandingan antara jumlah energi yang terpakai suatu proses dengan jumlah energi yang dihasilkan dari proses tersebut. Dengan kata lain energi *output* per energi *input* sehingga dapat ditulis dengan Persamaan 2-12.

$$\eta = \frac{\text{energi berguna}}{\text{Energi digunakan}} \quad (2-12)$$

Pada generator HHO efisiensi didefinisikan sebagai jumlah energi dari *Brown's gas* yang dihasilkan dibanding dengan energi yang dibutuhkan untuk proses elektrolisis. Perhitungan

efisiensi ini dimaksud untuk mengetahui seberapa efektif generator yang digunakan sehingga dapat mengetahui performa terbaik generator HHO bisa menghasilkan *Brown's gas*.

Untuk mengetahui energi dari *Brown's gas* dapat dilihat dari hasil perkalian debit, massa jenis, dan *Low Heating Value (LHV)* dari bahan bakar tersebut. Berikut perhitungan mencari nilai-nilai tersebut:

1. Debit *Brown's gas*

Untuk mengetahui debit dari *Brown's gas* dapat dilihat dari Persamaan 2-11 dimana perlu diketahui volume per satuan waktu. Dari persamaan tersebut didapatkan nilai debit dari pengambilan data volume yang didapatkan dari pengukuran.

2. Massa jenis *Brown's gas*

Pada persamaan reaksi kimia yang terjadi pada elektrolisis di generator HHO terdapat kandungan massa hidrogen ( $H_2$ ) dan oksigen ( $O_2$ ). Jika massa air ( $H_2O$ ) yang dielektrolisis pada sebuah generator HHO sebanyak 1 kg, maka dapat disimpulkan bahwa hasil produk *Brown's gas* yang terdiri dari massa total hidrogen ( $H_2$ ) dan oksigen ( $O_2$ ) juga sebanyak 1 kg. Telah diketahui menurut tabel periodik bahwa nilai  $M_r H_2O=18$ ,  $M_r H_2=2$ ,  $M_r O_2=32$ , maka didapatkan mole  $H_2$  :



Dari persamaan reaksi di atas dapat di ketahui massa jenis dari *Brown's gas* tersebut. Jika pada STP(*standard temperature pressure*) massa jenis  $H_2$  diketahui sebesar  $\rho_{H_2}= 0.08235 \text{ gr/ltd}$  an  $O_2$  sebesar  $\rho_{O_2}= 1.3088\text{gr/lt}$  (*Cole Parmer Instrument, 2005*), maka  $\rho_{HHO}$  dapat dicari dengan persamaan berikut ini :

$$\begin{aligned} \rho_{HHO} &= \frac{m_{hho}}{V_{hho}} = \frac{(m_{H_2}+m_{O_2})}{V_{hho}} \\ &= \frac{(\rho_{H_2} \cdot V_{H_2} + \rho_{O_2} \cdot V_{O_2})}{V_{hho}} \\ &= \frac{(\rho_{H_2} \cdot \frac{2}{3} V_{hho} + \rho_{O_2} \cdot \frac{1}{3} V_{hho})}{V_{hho}} = \frac{2}{3} \rho_{H_2} + \frac{1}{3} \rho_{O_2} \\ \rho_{HHO} &= \left( \frac{2}{3} \times 0.08235 \frac{\text{gr}}{\text{lt}} \right) + \left( \frac{1}{3} \times 1.3088 \frac{\text{gr}}{\text{lt}} \right) \\ &= 0.491167 \text{ gr/lt} \end{aligned}$$

3. *Low Heating Value (LHV) Brown's gas*

Untuk gas  $H_2$  sendiri memiliki nilai kalor sebesar 119,93 kJ/gram (Wardana, 2008:83). Sehingga untuk mengetahui nilai kalor *Brown's gas* ini kita terlebih dahulu

harus mengetahui perbandingan massa antara gas H<sub>2</sub> dalam HHO. Jika massa H<sub>2</sub> dalam *Brown's gas* sebesar 1/9, maka LHV (lower heating value) *Brown's gas* adalah 1/9 kali LHV (lower heating value) gas H<sub>2</sub>, yaitu = 1/9 x 119.93 kJ/g = 13.25 kJ/g atau 3812.754 kcal/kg.

Produk *Brown's gas* (*Brown's gas*) yang terukur pada HHO flowmeter dalam satuan ml/sec, dan energi yang diberikan untuk memproduksi *Brown's gas* adalah energi listrik yang dibutuhkan untuk terjadinya reaksi elektrolisis air dalam satuan watt (J/sec). Maka untuk menghitung efisiensi generator HHO diturunkan dari Persamaan 2-12 (Marlina, 2013).

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

$$= \frac{M_{\text{hho}} \times \text{LHV}_{\text{hho}}}{\rho_{\text{hho}}} \times 100\% = \frac{V_{\text{hho}} \times \rho_{\text{hho}} \times \text{LHV}_{\text{hho}}}{P_{\text{hho}}} \times 100\%$$

(2-14)

Dimana :

$V_{\text{hho}}$  = volume *Brown's gas* yang di hasilkan dalam satu detik (l/s)

$\text{LHV}_{\text{hho}}$  = nilai energi terendah yang di butuh kan agar HHO dapat bereaksi.

$\rho_{\text{hho}}$  = massa jenis dari HHO (kg/l)

$P_{\text{hho}}$  = Daya generator HHO

## 2.6 Elektrolit

Elektrolit adalah suatu larutan yang digunakan untuk menghasilkan *Brown's gas* pada proses elektrolisis. Elektrolit terdiri dari air murni atau air destilasi dan katalisator. Di elektrolit nantinya akan ada elektron-elektron yang akan memecah senyawa H<sub>2</sub>O menjadi H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub>. Pada penelitian ini digunakan air murni yang didapat dari sumber air sumur karena mudah didapat dan murah.

### 2.6.1 Katalis

Suatu reaksi memiliki ikatan-ikatan molekuler, untuk mempercepat suatu reaksi dibutuhkan suatu perangsang yaitu katalis. Dengan merangsang elektron yang mengikat atom-atom dalam molekul dengan katalis sehingga ikatan atom akan putus atau elektron dirangsang oleh katalis supaya meninggalkan molekul sehingga molekul tersebut menjadi pecah dan bermuatan. Ada dua jenis katalis yaitu katalis heterogen dan katalis homogen. Katalis heterogen menyediakan permukaan dimana proses reaksi akan berlangsung. Sedangkan katalis homogen berupa molekul yang mengkoordinir reaksi, setelah reaksi

terjadi maka produk hasil reaksi dilepas oleh katalis (Wardana, 2008:8). Elektrolisis bertujuan untuk memecah senyawa  $H_2O$  menjadi Oksigen dan hidrogen, pada elektrolisis *dry cell* menghasilkan *brown's gas* yang memiliki perbandingan molekul 2 hidrogen dan 1 oksigen. Pada elektrolisis dengan menggunakan air murni tanpa tambahan katalis akan menyebabkan konduktor listriknya rendah dan produksi *Brown's gas* rendah. Oleh karena itu penggunaan larutan elektrolit yaitu campuran air dan katalis akan meningkatkan konduktivitas sehingga produksi *Brown's gas* tinggi (Cakrapani, 2013). Pada penelitian ini katalis yang digunakan adalah Natrium bikarbonat atau soda kue, alasan penggunaan soda kue adalah harga yang terjangkau dan mudah didapatkan.

### 2.6.2 $NaHCO_3$ (Natrium Bikarbonat)

Senyawa ini termasuk dalam katalis homogen yang dapat berfungsi untuk mengkoordinir reaksi pada proses elektrolis (Wardana, 2008:8). Natrium Bikarbonat adalah senyawa kiasa dengan rumus  $NaHCO_3$ . Dalam penyebutannya biasa disingkat menjadi *bicnat*. Senyawa ini termasuk dalam kelompok garam dan telah lama digunakan sejak lama sejak dahulu kala (Silaban, 2013). Senyawa ini disebut juga *baking soda* (soda kue) atau Sodium Bikarbonat, Natrium Hidrogen Karbonat, dan lain – lain. 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 ini juga digunakan sebagai obat antasid (penyakit *maag* atau tukak lambung). Karena bersifat alkaloid (basa), senyawa ini juga dapat digunakan sebagai obat penetral asam bagi penderita asidosis tubulus renalis (ATR) atau rhenal tubular acidosis (RTA). Selain itu Natrium Bikarbonat juga dapat digunakan untuk menurunkan kadar asam urat.  $NaHCO_3$  diproduksi dari reaksi natrium klorida, amonia, dan karbon dioksida dalam air.  $NaHCO_3$  saat ini di dunia diproduksi sebanyak 100.000 ton/tahun (2001). Soda kue juga diproduksi secara komersial dari soda abu (diperoleh melalui penambangan biji trona, yang dilarutkan dalam air lalu direaksikan dengan karbon dioksida). Lalu  $NaHCO_3$  mengendap sesuai Persamaan 2-15 (Utomo & Laksono 2007) berikut:



### 2.6.3 Fraksi Massa Katalis

Fraksi massa adalah rasio perbandingan antara massa zat terlarut dengan jumlah massa zat total larutan (massa pelarut dan massa terlarut). Pada penelitian ini digunakan zat terlarut

adalah natrium Bikarbonat dan air sebagai zat terlarut. Untuk perhitungan fraksi massa dapat dilihat pada Persamaan 2-16 sebagai berikut:

Fraksi massa:

$$\% = \frac{\text{massa katalis (gr)}}{(\text{massa larutan (gr)})} \times 100\%$$
$$\% = \frac{\text{massa katalis (gr)}}{(\text{massa air} + \text{massa katalis}) \text{gr}} \times 100\% \quad (2-16)$$

## 2.7 Hipotesa

Semakin besar tebal pelat elektroda dengan fraksi massa katalis yang sama maka besar hambatan pelat dan daya yang dibutuhkan meningkat sehingga produktivitas *Brown's gas* semakin rendah. Semakin besar fraksi massa katalis dengan tebal pelat elektroda yang sama akan mempercepat reaksi sehingga produktivitas *Brown's gas* semakin tinggi.

