

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian tentang produksi *Brown's gas* atau gas HHO dengan menggunakan metode elektrolisis air sebenarnya telah banyak dilakukan. salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh Fitriah dan Wahyono (2009), melakukan penelitian tentang pemanfaatan air dan NaHCO_3 dengan menggunakan metode elektrolisis untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar kendaraan bermotor. Pada penelitian tersebut dihasilkan bahwa penggunaan elektroda berbentuk pelat pada *electrolyzer* memiliki kecepatan produksi gas HHO tertinggi sebesar 0.456 ml/detik pada volume elektrolit 270 ml dan dapat menurunkan konsumsi bahan bakar sebesar 19,2%. hasil tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan elektroda berbentuk tabung, pada volume elektrolit 270ml produksi gas HHO yang dihasilkan sebesar 0.447 ml/detik dan penurunan konsumsi bahan bakar sebesar 16,4%.

Suprastowo (2009), melakukan penelitian performa *electrolyzer wet cell* dengan penambahan baking soda pada aquades sebagai elektrolit. Variasi baking soda yang digunakan adalah 1 gram, 2 gram, 3 gram, 4 gram, 5 gram, 10 gram, 15 gram, dan 20 gram. Hasil penelitian yang didapatkan bahwa penggunaan baking soda 10 gram memiliki efisiensi *electrolyzer* tertinggi.

Marlina(2012) dengan judul penelitian produksi *Brown's gas* hasil elektrolisis H_2O dengan katalis NaHCO_3 . Pada penelitian tersebut Marlina menggunakan prosentase 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 material elektroda 316L. Hasil dari penelitian tersebut adalah Jumlah energi yang digunakan untuk proses elektrolisis dan laju produksi HHO akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya prosentase NaHCO_3 dengan titik puncak pada prosentase katalis 12,5%. Selain itu didapatkan pula efisiensi dari *electrolyzer* semakin meningkat hingga titik puncak pada katalis 10% didapatkan efisiensi *electrolyzer* sebesar 18,95%.

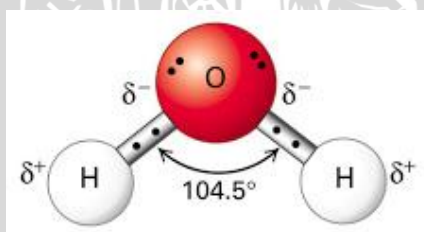
Dody(2013) melakukan penelitian tentang pengaruh variasi arus listrik pada produksi *Brown's gas*. Dengan memvariasikan fraksi massa katalis sebesar 0.99%, 1.15%, 1.31%, 1.48%, 1.64%, AMDK, aquades. Dan variasi arus 2, 4, 6, 8A. didapatkan hasil semakin besar arus listrik maka semakin besar pula volume alir gas HHO dengan produksi gas tertinggi pada variasi katalis 1.31% dan arus listrik 8 A. hal

ini dapat terjadi karena semakin banyak arus listrik yang mengalir maka semakin banyak juga elektron yang mengalir sehingga mengakibatkan reaksi pemecahan molekul air oleh elektroda semakin cepat.

Penelitian tentang pengaruh jarak dilakukan oleh Haris (2005), dengan penelitian tentang pengendapan logam tembaga dengan metoda elektrolisis internal. Haris memvariasikan jarak antar elektroda 1 cm sampai dengan 3.5 cm, didapatkan hasil penelitian bahwa semakin panjang jarak elektroda arus yang digunakan semakin kecil. Mengakibatkan mobilitas ion semakin kecil dan endapan yang di hasilkan juga semakin kecil.

2.2 Air murni (*aquadest*)

Air merupakan senyawa kimia yang terdiri dari atom hidrogen dan atom oksigen yang dihubungkan dengan ikatan kovalen, rumus kimia air ditulis H_2O . Sebagian besar permukaan bumi tertutup oleh air, Indonesia sendiri 2/3 luas wilayahnya merupakan air. Air merupakan satu-satunya substansi yang ada di bumi secara alamiah tersedia dalam 3 fase yaitu, cair (Air laut, hujan, air tawar, dll), dalam fase gas (awan), dan dalam fase padat (es di kutub atau di puncak gunung). Dalam keadaan yang murni dan tanpa adanya zat lain yang tercampur sifat air tidak berwarna atau bening, tidak berbau dan tidak berasa. Untuk mengetahui sifat-sifat air yang lebih jelas secara kimia maupun fisika dapat dilihat pada table 2.1.



Gambar 2.1 : Struktur Molekul Air

Sumber : Anonymous_1, 2013

Dari gambar 2.1 diketahui bahwa molekul air dibentuk dari 2 buah atom hidrogen dan 1 atom oksigen yang disatukan dengan ikatan kovalen. Hal ini terjadi dikarenakan atom oksigen memiliki elektron valensi sebanyak 6 buah sehingga untuk mendapatkan keseimbangan menjadi 8 elektron, maka atom oksigen membutuhkan 2 buah elektron. Persebaran elektron ini menjadi 4 sisi, dengan 2 sisi elektron saling berpasangan dan 2 sisi memiliki satu elektron. Pada masing-masing sisi yang memiliki

1 buah elektron terjadi kereaktifan untuk mencari pasangan ikatan agar lebih seimbang. Dikarenakan hidrogen memiliki 1 buah elektron valensi dan agar menjadi seimbang menjadi 2 buah elektron maka atom hidrogen dengan atom oksigen saling tarik menarik dan join elektron membentuk ikatan kovalen menjadi molekul air dengan Sudut ikatan $104,5^{\circ}$.

Tabel 2.1 Sifat Fisik dan Kimia Air

Nama Sistematis	air			
Nama Lain	Aqua, dihidrogen monoksida, Hidrogen hidroksida			
Rumus molekul	H_2O			
Massa molar	18.0153 g/mol			
Densitas dan fase	0.998 g/cm ³ (cairan pada 20°C), 0.92 g/cm ³ (padatan)			
Titik lebur	0°C (273.25K)(32°F)			
Titik didih	100°C (373.15K)(212°F)			
Kalor jenis	4184 J/(kg.K) (cairan pada 20°C)			
	0°	20°	50°	100°
Massa jenis (gr/cm ³)	0.99987	0.99823	0.9981	0.9584
Panas Jenis (kal/g.°C)	1.0074	0.9988	0.9985	1.0069
Kalor Uap (kal/g)	597.3	586.0	569.0	539.0
Konduktivitas termal (kal/cm.s.°C)	1.39×10^{-3}	1.40×10^{-3}	1.52×10^{-3}	1.63×10^{-3}
Tegangan permukaan (dyne/cm)	75.64	72.75	67.91	58.80
Laju viskositas (g/cm.s)	178.34×10^{-4}	100.9×10^{-4}	54.9×10^{-4}	28.4×10^{-4}
Tetapan dielektrik	87.825	80.8	69.725	55.355

Sumber : Anonymous_2, 2013

Dari Tabel 2.1 dapat dijelaskan bahwa pada tekanan 1 atm air memiliki titik lebur 0°C dan titik didih 100°C. dari tabel 2.1 pula dapat dilihat massa jenis air akan semakin kecil seiring dengan bertambahnya temperatur, sebagai contoh massa jenis air pada temperatur 0°C (0,99987 gr/cm³), 20°C (0.99823 gr/cm³), 50°C (0.9981 gr/cm³), 100°C (0.9584 gr/cm³). Begitu juga dengan laju viskositas air yang akan semakin kecil seiring dengan bertambahnya temperatur. Turunnya nilai massa jenis dan laju viskositas ini dikarenakan pada saat air dipanaskan, maka energi panas akan menggetarkan

molekul-molekul air sehingga molekul tersebut akan bergerak semakin acak dan membuat jarak antar molekul semakin jauh. Semakin jauhnya jarak antar molekul ini akan mempengaruhi viskositas dan massa jenis air. Berbeda dengan viskositas dan massa jenis air, konduktivitas air akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya temperatur, hal ini disebabkan karena jika air dipanaskan maka molekul-molekul air pergerakannya akan semakin acak dan membuat antar molekul semakin sering bertumbuk. Semakin seringnya terjadi tumbukan antar molekul ini maka semakin mudah untuk memindahkan panas. Oleh karena itu konduktivitas thermal air akan semakin tinggi seiring dengan penambahan temperatur.

Dengan ketersediaan jumlah air yang begitu melimpah di bumi, merupakan suatu potensi besar yang seharusnya dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi atau kebutuhan lainnya. Namun faktanya saat ini baru sekitar 23% yang sudah dimanfaatkan, dimana hanya sekitar 20% dari jumlah air yang dimanfaatkan tersebut digunakan untuk memenuhi kebutuhan air baku rumah tangga, kota, dan 80% dari itu dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan irigasi (Hartoyo,2010). Dalam bidang keteknikan dan sumber energi industri, air digunakan sebagai bahan baku pemenuhan kebutuhan dasar. Misalnya pada Pembangkit listrik Tenaga Uap (PLTU), air digunakan sebagai fluida dasar pembawa kalor yang digunakan untuk memutar turbin. Di industri-industri, air banyak digunakan untuk pendinginan komponen permesinan.

Dengan adanya isu tentang krisis energi yang akan melanda sebagian besar negara. Air merupakan salah satu jawaban dari permasalahan yang akan timbul dengan meningkatkan pemanfaatan air pada penyediaan energi terbarukan yang berkelanjutan. Salah satu yang dapat digunakan adalah metode elektrolisis air. Proses elektrolisis air menggunakan arus listrik untuk melepas ikatan H_2O menjadi masing-masing atom hidrogen dan oksigen dimana atom-atom yang berbentuk gas tersebut dapat dikumpulkan dan digunakan sebagai sumber energi.

2.3 *Brown's gas*

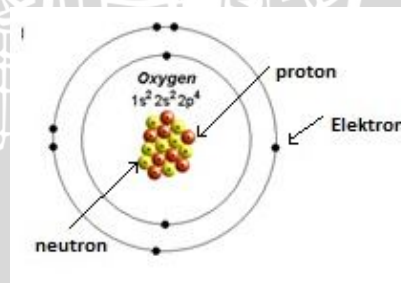
Brown's gas atau gas HHO merupakan senyawa campuran gas yang terdiri dari diatomik hidrogen (H_2) dan diatomik oksigen (O_2) hasil dari elektrolisis air. Tetapi kedua molekul ini tidak saling berikatan kuat, hanya bercampur secara acak dalam suatu wadah, campuran ini hanya dapat dipisahkan melalui proses lanjutan dan tidak secara alami. *Brown's gas* pertama kali ditemukan oleh seseorang berkebangsaan Australia yang bernama Yull Brown pada tahun 1947. Ia menemukan bahwa oksigen dan

hidrogen dapat dicampur dengan aman pada rasio +/- 5% dan konsentrasi itu harus dijaga. Lalu Brown menemukan cara agar kedua molekul ini dapat dicampur dengan aman dan ekonomis melalui proses elektrolisis air. Pada alat elektrolisis atau yang disebut *electrolyzer*, *Brown's gas* timbul pada permukaan elektroda berupa gelembung-gelembung oksigen dan hidrogen yang timbul secara terus menerus lalu dikumpulkan dan ditampung dalam satu wadah.

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

Brown's gas juga memiliki karakteristik yang lebih dibandingkan dengan zat-zat yang lainnya, yaitu memiliki suhu api bersuhu sekitar 130°C tetapi dapat melelehkan baja, aluminium ataupun logam lainnya. *Brown's gas* tidak sepenuhnya menunjukkan sifat monoatomik O maupun H saja, tetapi sebagian besar yang di hasilkan adalah atom diatomik H₂ dan O₂. Prosesnya yaitu jika arus listrik dialirkan menuju sebuah molekul air, kelebihan elektron akan membagi molekul air dalam 2 molekul bagian yaitu H₂ dan 2 molekul HO yang kemudian 2HO dibagi lagi menjadi molekul O₂ dan H₂ (Chris,2008).

2.3.1 Oksigen



Gambar 2.2 Model atom oksigen
Sumber : Anonymous_3, 2013

Oksigen adalah suatu unsur kimia dalam sistem tabel periodik yang mempunyai lambang O, nomor atom 8 dan isotop oksigen 16. Pada temperatur dan tekanan standar, dua atom oksigen berikatan menjadi dioksigen, yaitu senyawa gas diatomik dengan rumus O₂ yang tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau. Oksigen merupakan unsur yang dapat dengan mudah bereaksi dengan hampir semua unsur

lainnya (utamanya menjadi oksida). Oksigen memiliki jumlah yang banyak di bumi, terhitung sekitar 20,9% unsur yang ada di atmosfer bumi merupakan oksigen (terbanyak dalam bentuk ozon O_3), sedangkan pada kerak bumi oksigen memiliki prosentase 49,2% yang terdapat dalam air, dan senyawa lainnya.

Gambar 2.2 memperlihatkan model struktur atom dari oksigen, atom oksigen pada umumnya memiliki 8 proton dan 8 neutron yang terletak pada bagian inti atom (*nucleus*). Oksigen juga memiliki 8 elektron yang tersebar mengelilingi *nucleus* 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 mengelilingi inti atom, dengan 4 elektron berpasangan menjadi 2 pasang dan 2 elektron tunggal yang reaktif. Karena keraktifan dari elektron tersebut membuat atom yang lain tertarik dan membuat ikatan agar stabil.

Oksigen cair maupun oksigen padat memiliki warna biru langit. Oksigen sangat mudah bereaksi dengan unsur lain, sehingga menjadikannya unsur terpenting yang ada di bumi. salah satu contohnya mengapa oksigen sangat penting adalah pada proses reaksi pembakaran, baik pembakaran dalam tubuh atau pada api, oksigen merupakan unsur utama yang diperlukan dalam reaksi tersebut karena unsur ini yang cukup kuat untuk bereaksi dengan hidrokarbon. Selain pembakaran, reaksi yang biasa terjadi adalah pengkaratan pada logam. Kecepatan pengkaratan tergantung dari kondisi daerah, suhu dan tekanan yang ada pada benda.

Tabel 2.2 Sifat Oksigen

Massa jenis	(0 °C, 101.325 kPa) 1.429 g/L
Titik lebur	54.36 K, -218.79 °C, -361.82 °F
Titik didih	-182.95 °C, 90.19 K, -297.31 °F
Titik kritis	154.59 K, 5.043 MPa
Kalor peleburan	(O_2) 0.444 kJ·mol ⁻¹
Kalor penguapan	(O_2) 6.82 kJ·mol ⁻¹
Kapasitas kalor	(O_2) 29.378 J·mol ⁻¹ ·K ⁻¹
Konduktivitas termal	26.58x10 ⁻³ W·m ⁻¹ ·K ⁻¹

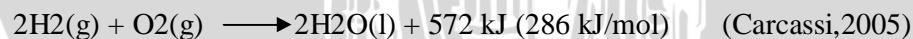
Sumber : Anonymous_4, 2013

2.3.2 Hidrogen

Hidrogen (bahasa Latin: *hidrogenium*, dari bahasa Yunani: *hydro*: air, *genes*: membentuk) adalah unsur kimia pada tabel periodik yang memiliki simbol H dan nomor atom 1. Pada suhu dan tekanan standar, hidrogen tidak berwarna, tidak berbau, bersifat non-logam, bervalensi tunggal, dan merupakan gas diatomik yang sangat mudah terbakar. Dengan massa atom 1,00794 amu, hidrogen adalah unsur teringan di bumi (Anonymous_5, 2013). Sifat-sifat fisis dari hidrogen ditunjukkan pada tabel 2.3.

Jumlah hidrogen di alam semesta sangat melimpah, berdasarkan massaya hidrogen terdapat hampir 75% dari semua unsur lain yang ada di alam semesta. sedangkan jika dilihat dari jumlah atomnya, hidrogen memiliki prosentase yang lebih besar yaitu sekitar 90%. Walaupun hidrogen merupakan unsur yang melimpah, tetapi dalam keadaan alamiah di bumi sangat jarang ditemui hidrogen dalam bentuk molekul diatomik melainkan banyak terdapat dalam bentuk senyawa air dan hidrokarbon yang lainnya. Hal ini diakibatkan karena sifat hidrogen yang sangat reaktif membuat molekul hidrogen ini tertarik oleh senyawa lain yang lebih kuat dan membuat senyawa baru. Selain itu pada lapisan udara, molekul hidrogen tertarik oleh lapisan ozon atau terlepas ke alam semesta dikarenakan massanya yang sangat ringan.

Ketika gas hidrogen dicampur dengan oksigen dalam berbagai perbandingan prosentase, akan terjadi pembakaran yang diikuti dengan ledakan. Pada temperature diatas 560°C hidrogen akan meledak dengan sendirinya tanpa disulut dengan api. Hidrogen memiliki entalpi pembakaran sebesar -286kJ/mol. Saat dicampur dengan oksigen, Hidrogen terbakar menurut persamaan kimia:



Jika oksigen direaksikan dengan hidrogen maka akan terjadi suatu reaksi pembakaran dan menghasilkan produk berupa air. Maka untuk membuat sistem pembakaran dalam lebih irit dapat dilakukan penambahan gas oksigen dan hidrogen pada ruang bakar, dimana kedua gas tersebut terdapat dalam kandungan *Brown's gas*. Maka dari itu diperlukan pengembangan penelitian untuk pengoptimalan produksi *Brown's gas* dari elektrolisis air.

Tabel 2.3 *Properties* Hidrogen

Physical properties	
Color	colorless
Phase	gas
Density	(0 °C, 101.325 kPa) 0.08988 g/L
Liquid density at m.p.	0.07 (0.0763 solid) ^[2] g·cm ⁻³
Liquid density at b.p.	0.07099 g·cm ⁻³
Melting point	14.01 K, -259.14 °C, -434.45 °F
Boiling point	20.28 K, -252.87 °C, -423.17 °F
Triple point	13.8033 K (-259°C), 7.042 kPa
Critical point	32.97 K, 1.293 MPa
Heat of fusion	(H ₂) 0.117 kJ·mol ⁻¹
Heat of vaporization	(H ₂) 0.904 kJ·mol ⁻¹
Molar heat capacity	(H ₂) 28.836 J·mol ⁻¹ ·K ⁻¹

Sumber : Rahman, 2013

Menurut *American Nuclear Society* (Juni 2012), kebutuhan dunia akan hidrogen sangat besar yaitu sekitar 5 juta ton per tahun. Hidrogen sebesar ini diperlukan untuk proses kimia seperti mengikat nitrogen dengan unsur lain dalam proses Haber bosch, produksi methanol, bahan bakar roket, memproduksi asam klorida, mereduksi bijih-bijih besi dan sebagai gas pengisi balon, bahan bakar alternatif, pembentuk ammonia, serta bahan *oil refining* dan *oil upgrading*.

2.4 Metode Produksi Hidrogen

Sebagaimana kita ketahui bahwa hidrogen merupakan molekul yang tidak dapat berdiri sendiri secara alami di bumi, sehingga untuk memperoleh hidrogen tidak dapat ditambang seperti batu bara, minyak atau sumber energi lainnya, melainkan membutuhkan suatu proses produksi baik secara kimia, maupun secara thermo. Di bawah ini akan dijelaskan mengenai beberapa macam produksi hidrogen:

1. Termokimia

Salah satu cara produksi hidrogen yaitu dengan cara menguraikan air secara langsung dengan menggunakan panas yang bersuhu 4000 K. pada proses produksi ini membutuhkan suhu yang sangat tinggi sehingga membutuhkan energi yang cukup besar untuk membangkitkannya. Suhu yang digunakan untuk mengurai air dengan panas dapat diperendah dengan proses elektrokimia, yaitu proses peruraian air dengan panas dengan bantuan zat kimia. Dari banyak jenis proses termokimia

untuk memproduksi hidrogen, proses iodine-sulfur merupakan proses yang menjanjikan yaitu hanya membutuhkan suhu sekitar 130°C (Kassahar dkk,2006)

2. Steam reforming

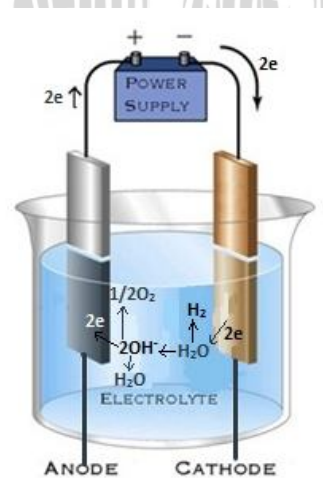
Metode ini dilakukan dengan cara mereaksikan uap air bersuhu tinggi lebih dari 200°C dengan zat yang mengandung unsur hidrokarbon misalnya, gas Metan, alkohol, biomassa dengan bantuan katalisator menjadi H_2 dan CO . Selanjutnya reaksi tersebut diteruskan dengan *shift reaction* yang bersifat eksotermis yaitu gas CO yang dihasilkan dari reaksi sebelumnya direaksikan kembali dengan uap air sehingga membentuk CO dan H_2 (Riberio, 2008)

3. Elektrolisis Air

Elektrolisis air merupakan suatu metode pelepasan atom hidrogen dengan atom oksigen dari zat dasarnya yaitu air (H_2O) dengan bantuan energi listrik.

2.5 Elektrolisis Air

Elektrolisis merupakan suatu proses kimia dengan merubah energi listrik menjadi energi kimia. Sedangkan elektrolisis air sendiri adalah suatu konversi energi listrik menjadi energi reaksi kimia yang dilakukan dengan cara mengalirkan arus listrik searah ke dalam air atau larutan elektrolit (campuran air dengan katalis). Proses elektrolisis tersebut bertujuan untuk melepaskan ikatan atom hidrogen dengan atom oksigen yang merupakan struktur kimia air, sehingga akan didapatkan gas oksigen dan hidrogen hasil dari reaksi ini. metode elektrolisis pertama kali ditemukan oleh Faraday pada tahun 1820.



Gambar 2.3 Elektrolisis air
Sumber. Anonymous_6, 2013

Dari gambar 2.3 didapatkan suatu penjelasan bahwa untuk melakukan elektrolisis dibutuhkan sumber energi listrik searah (DC) yang bersumber dari *accumulator* atau regulator yang dialirkan kedalam *electrolyzer*. karena antar kutub *power supply* (sumber listrik) ini memiliki beda tegangan, maka elektron akan mengalir dari kutub negatif menuju anoda yang terendam dalam elektrolit. Setelah melewati elektrolit yang akan direaksikan, elektron sampai pada katoda dan diteruskan ke kutub positif dari *power supply*. Elektrolit yang digunakan harus memiliki sifat ionik sehingga dapat menghantarkan listrik. Elektrolisis air terjadi karena elektrolit mengandung ion-ion yang dapat bergerak bebas, sehingga pada saat dialiri oleh arus listrik senyawa air yang terdapat pada elektrolit tersebut bereaksi. 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 dan 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 berbentuk gelembung-gelembung gas kecil pada permukaan masing-masing elektroda.

Pada penelitian ini menggunakan *electrolyzer dry cell*, pada *electrolyzer* tersebut elektrolit turun masuk dari *bubbler* ke bagian bawah *electrolyzer* secara otomatis tanpa bantuan alat karena adanya gaya gravitasi. Setelah masuk di dalam *electrolyzer*, elektrolit terdorong ke atas. Hal ini yang membuat gelembung-gelembung gas hasil elektrolisis yang memiliki massa jenis lebih rendah tersebut terlepas dari permukaan elektroda dan terdorong keluar melalui lubang keluar bersama dengan beberapa elektrolit yang ikut terdorong. Setelah keluar dari *electrolyzer* gas tersebut di kumpulkan dalam sebuah wadah. Dan elektrolit ini terus bersirkulasi antara *bubbler* dengan *electrolyzer*

untuk menghasilkan proses elektrolisis ada 3 syarat utama yang harus dipenuhi, yaitu:

1. Adanya sumber arus listrik searah (DC). Sumber arus listrik yang biasa digunakan adalah *accu*, *Catu daya/regulator*, baterai, sel surya.
2. Ada larutan elektrolit yang memiliki ion-ion yang dapat bergerak bebas. Ion-ion pada larutan dapat menerima dan melepaskan elektron, sehingga dapat dijadikan perantara pertukaran elektron antara katoda dan anoda. berdasarkan dari besar

kecilnya kemampuan elektrolit menghantarkan listrik larutan elektrolit ini dibagi menjadi 3 yaitu, larutan elektrolit kuat, elektrolit lemah, dan non-elektrolit.

3. Ada 2 elektroda dalam sel elektrolisis yaitu elektroda yang menerima elektron dari sumber arus listrik luar disebut katoda, sedangkan elektroda yang mengalirkan elektron kembali ke sumber arus listrik luar disebut anoda. (Indra, 2010). Sebagaimana kita ketahui bahwa agar ada arus listrik yang mengalir maka harus ada beda potensial terlebih dahulu antara katoda dengan anoda.



Dari uraian di atas didapatkan faktor-faktor yang mempengaruhi elektrolisis air yaitu.

- Temperatur
- Kualitas Elektrolit
- Resistansi elektrolit
- Spesifikasi material elektroda
- Katalis

2.6 Larutan Elektrolit

Larutan adalah campuran beberapa senyawa atau zat yang bersifat homogen. Zat yang memiliki konsentrasi terbesar disebut dengan pelarut sedangkan zat yang memiliki konsentrasi lebih kecil disebut dengan zat terlarut. Larutan Elektrolit adalah larutan yang di bentuk oleh zat elektrolit. Sedangkan elektrolit sendiri merupakan suatu zat yang terlarut atau terurai kedalam bentuk ion-ion, yang mana ion-ion merupakan atom-atom bermuatan listrik, selanjutnya larutan yang dibentuk ion-ion ini menjadi konduktor elektrik. Elektrolit umumnya berbentuk asam, basa atau garam. Beberapa gas tertentu dapat berfungsi sebagai elektrolit pada kondisi tertentu misalnya pada suhu tinggi atau tekanan rendah. Zat yang ion-ionnya terurai sempurna dinamakan elektrolit kuat, sedangkan zat yang ion-ionnya terurai sebagian dinamakan elektrolit lemah.

Menurut Arrhenius, larutan elektrolit dalam air terurai ke dalam partikel-partikel bermuatan listrik positif dan negatif yang disebut ion (ion positif dan ion negatif) Jumlah muatan ion positif (Kation) akan sama dengan jumlah muatan ion negatif (Anion), sehingga muatan ion-ion dalam larutan netral. Ion-ion inilah yang bertugas menghantarkan arus listrik (Anonymous_7,2013). Lalu Michael Faraday menemukan

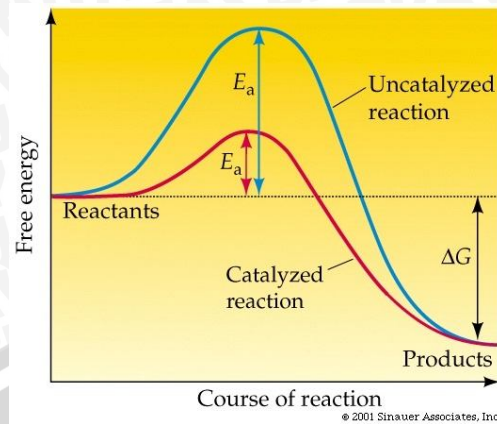
bahwa jika arus listrik dialirkan kedalam larutan elektrolit maka akan terjadi suatu fenomena yang di namakan elektrolisis yang menghasilkan gas.

Pada penelitian ini peneliti menggunakan air sebagai pelarutnya dan garam berupa Natrium Bikarbonat sebagai zat terlarutnya untuk menghasilkan elektrolit kuat agar dapat dialiri listrik secara baik dan mempercepat reaksi elektrolisis.

2.7 Katalisator

Katalisator atau yang biasa disebut dengan katalis pertama kali dikemukakan oleh Otswald. Otswald mendefinisikan katalis sebagai suatu substansi yang dapat mempercepat laju reaksi tanpa mengubah besarnya energi yang menyertai reaksi tersebut dan tidak didapati pada produk akhir dari reaksi. Menurut Augustine (1996), katalis adalah substansi yang dapat meningkatkan laju reaksi pada suatu reaksi kimia yang mendekati kesetimbangan dimana katalis tersebut tidak terlibat secara permanen sehingga katalis akan dijumpai dalam jumlah yang sama sebelum terjadinya reaksi. Kemampuan suatu katalis dalam mempercepat laju reaksi dipengaruhi oleh berbagai macam faktor. Faktor-faktor yang mempengaruhi kemampuan suatu katalis antara lain adalah sifat fisika dan kimia katalis, kondisi operasi seperti temperature, tekanan, laju alir, waktu kontak, dan jenis katalis yang digunakan (Rieke dkk., 1997)

Katalis meningkatkan laju reaksi dengan cara mempengaruhi energi aktivasi suatu reaksi kimia. Keberadaan katalis akan menurunkan energi aktivasi, sehingga reaksi pengaktifan dapat berjalan dengan cepat. Energi aktivasi merupakan sebuah istilah yang diperkenalkan oleh Svante Arrhenius, yang didefinisikan sebagai energi yang harus dilampaui agar reaksi kimia dapat terjadi. Energi aktivasi bisa juga diartikan sebagai energi minimum yang dibutuhkan agar reaksi kimia tertentu dapat terjadi. Energi aktivasi sebuah reaksi biasanya dilambangkan sebagai E_a , dengan satuan kilo joule per mol.



Gambar 2.4 Penurunan energi aktivasi
Sumber : Anonymous_8

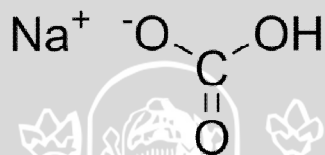
Pada gambar 2.4 dapat dilihat untuk mereaksikan suatu reaktan diperlukan energi minimal yang harus digunakan untuk mereaksikan reaktan tersebut menjadi produk, energi ini disebut dengan energi aktivasi. Pada gambar 2.4 pula terlihat bahwa energi aktivasi yang dibutuhkan untuk mereaksikan suatu reaktan tanpa menggunakan katalis lebih besar dibandingkan dengan jumlah energi aktivasi yang dibutuhkan untuk mereaksikan reaktan dengan campuran katalis. Hal ini terjadi karena katalis berguna untuk mempercepat reaksi tanpa ikut bereaksi secara permanen sehingga energi aktivasi yang dibutuhkan lebih rendah. Misalnya reaktan berupa air yang dicampur dengan katalis energi aktivasinya akan lebih rendah dibandingkan dengan air tanpa katalis. Penyebab dari menurunnya energi aktivasi adalah saat setelah air ditambahkan katalis maka terbentuk suatu larutan elektrolit yang di dalamnya terdapat molekul air dan ion-ion dari katalis tersebut. Ion-ion bermuatan tersebut sangat reaktif untuk berikatan sehingga disaat ada elektron listrik masuk kedalam larutan dengan cepat ditangkap oleh ion-ion tersebut lalu ditransferkan ke molekul air untuk menggetarkan ikatan ikatannya hingga terlepas. Sehingga dalam istilah lain ion-ion dari katalis tersebut sebagai jembatan untuk memperpendek jarak sumber elektron dengan molekul air. Sehingga untuk melepas ikatan antar molekulnya hanya dibutuhkan energi aktivasi yang lebih rendah.

Pada proses elektrolisis air, katalis juga sangat dibutuhkan untuk mempercepat reaksi pelepasan ikatan H_2O menjadi atom oksigen dan hidrogen. penyebab semakin cepatnya reaksi ini dikarenakan energi aktivasi larutan semakin rendah sehingga dengan energi yang sama digunakan untuk mengelektrolisis air murni, reaksinya akan lebih

cepat. Selain itu, semakin banyaknya konsentrasi katalis dalam larutan elektrolit, maka semakin cepat juga reaksi elektrolisis yang terjadi pada daya yang sama.

2.7.1 Natrium Bikarbonat (NaHCO_3)

Natrium Bikarbonat (NaHCO_3) atau yang biasa disebut soda kue merupakan senyawa yang termasuk dalam golongan garam. Natrium Bikarbonat termasuk ke dalam elektrolit kuat yang terbentuk dari asam kuat H_2CO_3 yang terionisasi menjadi H^+ dan HCO_3^- juga berasal dari basa kuat NaOH terionisasi menjadi Na^+ dan OH^- . Natrium Bikarbonat merupakan salah satu senyawa yang banyak digunakan untuk dijadikan sebagai katalis pada elektrolisis karena mudah didapatkan, ekonomis, bukan bahan berbahaya dibandingkan dengan katalis yang lainnya berupa H_2SO_4 , HCL , KOH .



Gambar 2.5 Struktur molekul Natrium Bikarbonat
Sumber: Dody, 2013

Pada gambar 2.5 terlihat bahwa Natrium bikarbonat terbentuk dari beberapa atom yaitu natrium yang bermuatan 1 positif dengan HCO_3^- yang bermuatan 1 negatif. Pada saat fase padatan kedua molekul ini berikatan secara ionik membentuk garam Natrium bikarbonat. Sebagaimana sifat senyawa yang dibentuk oleh ikatan ionik pada saat dilarutkan ke dalam air, ikatan ionik tersebut akan terlepas kembali menjadi molekul dasar pembentuknya dan bersifat reaktif. Di karenakan sifatnya reaktif berbentuk ion maka molekul-molekul tersebut dapat menghantarkan listrik dan mempercepat reaksi pada elektrolisis.

2.7.2 Fraksi Massa

Fraksi massa adalah rasio dari massa zat terlarut terhadap jumlah massa zat larutan (massa pelarut ditambah massa pelarut). Pada penelitian ini zat terlarutnya adalah Natrium Bicarbonat dan zat pelarutnya adalah aquades. Perhitungan Fraksi massa dapat di lihat pada persamaan:

$$\text{Fraksi massa} = \frac{\text{massa zat terlarut}}{(\text{massa zat terlarut} + \text{massa zat pelarut})} \times 100\% \quad (2 - 1)$$

2.8 Electrolyzer

Electrolyzer merupakan tempat dimana terjadinya reaksi pemisahan hidrogen dan oksigen dari fluida dasarnya berupa air. Secara umum, *electrolyzer* yang banyak digunakan untuk menghasilkan *Brown's gas* adalah tipe basah (*wet cell*) dan tipe kering (*dry cell*). Yang membedakan antara keduanya adalah pada *electrolyzer wet cell* elektroda yang dialiri listrik langsung dicelupkan kedalam elektrolit yang akan direaksikan. Berdasarkan jenis elektrodanya, *Electrolyzer wet cell* dibagi menjadi 2 yaitu, elektroda berbentuk tabung dan berbentuk spiral. Selain tipe basah (*wet cell*), tipe *Electrolyzer* yang biasa digunakan adalah tipe kering (*dry cell*). Pada tipe *dry cell* elektrodanya berbentuk pelat dan ditumpuk secara selang antara anoda, pelat netral dan katoda dengan jarak sekat antara masing-masing pelat yang telah disesuaikan. Sehingga elektroda pada tipe *dry cell* tidak dicelupkan ke dalam elektrolit, melainkan elektrolit yang akan direaksikan dilewatkan secara tegak lurus dengan elektrodanya dan mengisi celah antar pelat. Sehingga reaksi elektrolisis terjadi pada permukaan pelat-pelat elektroda. Pada penelitian ini *electrolyzer* yang digunakan adalah tipe *dry cell*.

2.8.1 Elektroda

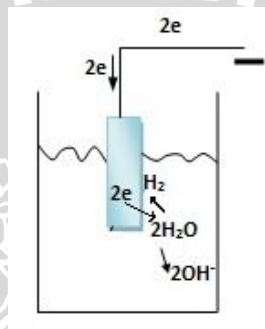
Elektroda adalah suatu material yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian atau media lain dari sebuah sirkuit untuk dialiri listrik (misal semikonduktor, elektrolit atau vakum). Elektroda harus terbuat dari bahan konduktor agar dapat dialiri listrik. Jika dilihat dari atomnya logam memiliki sifat melepas elektron, hal ini disebabkan karena atom logam memiliki elektron valensi yang kecil sehingga dapat bergerak secara bebas. Penggunaan medan listrik pada logam dapat menyebabkan seluruh elektron bebas bergerak dalam metal, sejajar, dan berlawanan arah dengan arah medan listrik. Jika suatu beda potensial listrik ditempatkan pada ujung-ujung sebuah konduktor, muatan-muatan Bergeraknya akan berpindah, menghasilkan arus listrik (Farid,2012). Ukuran dari kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik adalah konduktifitas listrik. Sehingga baik tidaknya suatu konduktor yang dijadikan elektroda untuk dialiri listrik dapat dilihat dari konduktifitas listrik bahan konduktor tersebut. Konduktifitas listrik bahan didefinisikan sebagai rasio rapat arus terhadap kuat medan listrik. semakin besar konduktifitas listrik bahan maka semakin baik juga bahan tersebut dialiri listrik.

Pertimbangan lain dalam pemilihan elektroda yang akan digunakan dalam elektrolisis adalah tahan terhadap korosi. Korosi dapat membuat lapisan dipermukaan

elektroda, hal ini dapat mengakibatkan hambatan listik yang terjadi akan semakin besar. Sehingga daya yang dibutuhkan akan semakin besar untuk melakukan proses elektrolisis dan tentunya akan menurunkan efisiensi dari *electrolyzer*. Pada penelitian ini digunakan elektroda berbahan stainless steel AISI 304, alasan pemilihan elektroda ini adalah logamnya bersifat inert, tahan korosif, penghantar listrik yang baik, mudah didapatkan, dan ekonomis.

2.8.1.1 Katoda

Reaksi yang terjadi pada Katoda :



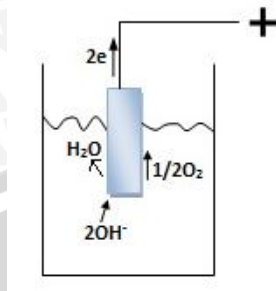
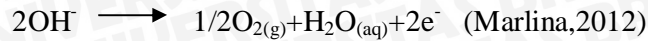
Gambar 2.6 Reaksi pada Katoda

Dalam sel elektrolisis katoda adalah elektroda pada *electrolyzer* yang akan terpolarisasi jika arus listrik mengalir keluar dari katoda tersebut dan elektron masuk ke dalamnya. Gambar 2.6 menunjukkan reaksi yang terjadi pada katoda. Saat katoda dialiri listrik akan menyebabkan elektron bergerak menuju ke katoda, hal ini yang menyebabkan katoda bermuatan negatif. air akan bereaksi dengan menangkap 2 elektron tersebut lalu tereduksi menjadi ion hidroksida dan gelembung gas H_2 pada sisi lempeng katoda. Proses reduksi tergantung dari asal kation tersebut, jika kation berasal dari logam yang memiliki potensial yang lebih kecil, maka air akan tereduksi.

2.8.1.2 Anoda

Anoda adalah elektroda positif pada sel elektrolisis. Gambar 2.7 memperlihatkan reaksi yang terjadi pada anoda. Ion OH^- hasil reaksi air pada katoda bergerak menuju anoda. Di anoda tersebut elektron OH^- terlepas menuju permukaan anoda dan bergerak kembali menuju *power supply*, akibat terlepasnya elektron tersebut dua buah ion OH^- terurai membentuk air dan gelembung oksigen.

Reaksi yang terjadi pada anoda adalah:



Gambar 2.7 Reaksi pada anoda

2.8.2 Pelat Netral

Pelat netral adalah pelat yang diletakk diantara katoda dan anoda dengan jarak yang sama. Pelat ini digunakan pada *electrolyzer dry cell*, ukurannya sama dengan elektroda *electrolyzer* tersebut tetapi yang membedakan adalah pelat netral tidak disambungkan dengan arus listrik.

Tabel 2.4 Penjelasan Pelat netral

<p>A</p>	<p>Arus listrik mengalir dari anoda ke katoda langsung melalui elektrolit yang ada diantara pelat sehingga beda tegangan akan tetap.</p>
<p>B</p>	<p>Arus listrik mengalir dari kutub negatif regulator melalui pelat netral menuju kutub positif pelat (anoda) dan diteruskan ke kutub positif regulator. Pelat netral menurunkan tegangan antar pelat dan meningkatkan area produksi HHO.</p>
<p>C</p>	<p>Penambahan 2 buah pelat netral membuat doule penghubung, sehingga tegangan turun lebih besar. 2 buah pelat netral membuat 3 area elektrolit. Dengan sumber tegangan asli 12 V. maka membuat beda tegangan antat pelat menjadi $12\text{V}/3 = 4\text{V}$</p>
<p>D</p>	<p>Penambahan 5 buah pelat netral membuat tegangan antar pelat turun menjadi 2 volt. $12\text{V} / 6 \text{ area air} = 2\text{V}$ per antar pelat.</p>

Sumber: Anonymous_9, 2013

Dari tabel 2.5 didapat penjelasan bahwa arus listrik mengalir dari anoda ke katoda melalui elektrolit yang berada pada celah antar pelat. Dengan penambahan pelat netral maka tegangan antar pelat akan turun sebanding dengan banyaknya pelat netral yang digunakan. Sesuai dengan persamaan hukum ohm.

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

Keterangan :

V = Beda tegangan [V]

I = Kuat arus [A]

R = Hambatan [Ohm]

Pada proses elektrolisis, yang menjadi hambatan adalah elektrolit, pelat netral, dan elektroda baik dari segi bahan yang digunakan, ketebalan, luas permukaan dan profilnya. Penambahan pelat netral diantara anoda dan katoda akan membuat jarak antar kutub semakin jauh dan mengakibatkan hambatannya semakin naik, naiknya hambatan sebenarnya dikarenakan penambahan pelat netral membuat semakin banyaknya celah-celah antar pelat dan area tersebut diisi oleh elektrolit, selain itu pelat netral itu sendiri memiliki nilai hambatan tertentu membuat hambatan semakin besar.

Berdasarkan persamaan (2-2) maka akan diketahui bahwa semakin tinggi hambatan maka tegangannya akan tinggi dengan ampere sama. Tetapi penambahan pelat netral akan menurunkan tegangan antar pelat seperti terlihat pada tabel 2.5 bagian C dibandingkan dengan tegangan antar pelat jika tidak menggunakan pelat netral menurunnya tegangan antar pelat maka arus listrik yang bergerak dari anoda ke katoda yang juga harus melalui pelat netral akan semakin kecil. tetapi keuntungannya adalah panas yang dihasilkan dari elektrolisis semakin kecil dengan penurunan arus listrik tersebut, sehingga efisiensi *electrolyzer* semakin tinggi karena energi yang diubah menjadi panas hanya sedikit. Keuntungan lain dengan penambahan pelat netral tersebut adalah semakin banyaknya luas area elektrolit yang dapat dielektrolisis menjadi gas HHO selain itu reaksinya juga akan lebih stabil.

Akan tetapi penggunaan pelat netral yang berlebihan akan membuat hambatan yang terlalu besar, hal ini akan mengakibatkan elektron yang bergerak dari katoda menuju anoda tidak sampai ke tujuan dan mengakibatkan tidak terjadi reaksi elektrolisis. Pada penelitian ini peneliti menggunakan 6 pelat netral dengan konfigurasi katoda-netral-netral-anoda.

2.9 Produksi *Brown's gas*

2.9.1 Daya *Electrolyzer*

Elektrolisis merupakan suatu reaksi kimia dengan cara merubah energi listrik menjadi energi kimia. Agar terjadi proses elektrolisis tersebut maka diperlukan adanya energi listrik DC yang dapat bersumber dari mana saja, misalnya dari listrik PLN (diinverter jadi DC), solar panel, Batrai. Pada penelitian ini digunakan sumber listrik yang dari PLN. Di karenakan listrik dari PLN merupakan *Alternating Current (AC)* maka digunakan regulator untuk merubah menjadi *direct current (DC)*, selain itu regulator ini juga digunakan untuk mengatur besar arus listrik yang digunakan.

Untuk mendapatkan efisiensi yang tinggi maka daya listrik yang di gunakan harus sekecil mungkin dengan laju produksi *Brown's gas* yang tinggi. Agar diketahui jumlah daya listrik yang digunakan selama proses elektrolisis dapat digunakan persamaa berikut ini.

$$P = V \cdot I \quad (\text{Bird, 2010:15}) \quad (2-3)$$

Keterangan:

P = Daya yang dibutuhkan *electrolyzer* (Watt)

V = Beda potensial (Volt)

I = Arus yang digunakan (Ampere)

2.9.2 Efisiensi *Electrolyzer*

Secara umum efisiensi merupakan perbandingan antara energi yang dapat digunakan hasil dari suatu proses dengan jumlah imputan energi yang di butuhkan untuk melakukan proses tersebut. Efisiensi dapat ditulis dengan persamaan:

$$\eta = \frac{\text{energi berguna}}{\text{Energi digunakan}} \quad (\text{Williams 2002:69}) \quad (2-4)$$

Pada elektrolisis air efisiensi didefinisikan sebagai jumlah energi dari *Brown's gas* yang terkandung di dalamnya yang dapat digunakan sebagai sumber energi dibandingkan dengan jumlah energi yang digunakan untuk melakukan proses elektrolisis dalam hal ini adalah energi listrik. perhitungan efisiensi ini digunakan untuk mengetahui seberapa efektif *electrolyzer* yang digunakan dapat bekerja.

Untuk mengetahui efisiensi pada *electrolyzer*, sebelumnya kita harus mengetahui energi yang digunakan dalam proses. Untuk menghitung energi yang digunakan dalam proses elektrolisis dapat dilihat persamaan (2-2) .

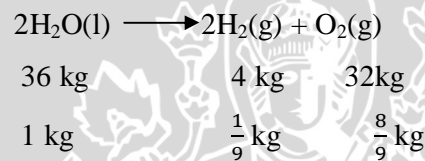
Sebagaimana diketahui energi berguna yang terkandung dalam bahan bakar adalah hasil kali dari volume, massa jenis dan *Low Heating Value (LHV)* dari bahan bakar tersebut. Maka kita harus menghitung nilai masing-masing bagian tersebut untuk mengetahui energi yang terkandung dalam *Brown's gas*.

1. menghitung Produktivitas gas HHO (*Brown's gas*).

Dalam konteks ini, volume gas HHO merupakan volume gas yang dihasilkan dalam satu satuan waktu yaitu detik. Sehingga volume gas yang didapatkan dari gelas ukur harus dibagi 35 untuk menjadikan volume per detik

2. massa jenis gas HHO

Dalam persamaan kimia reaksi elektrolisis air ini dapat dihitung seberapa besar kandungan massa H₂ dalam HHO. Jika massa H₂O yang dielektrolisis sebanyak 1 kg, maka masa produk total H₂ dan O₂ juga 1 kg, sehingga diketahui Mr H₂O=18, Mr H₂=2, Mr O₂=32, maka didapatkan mole H₂ :



Dari persamaan reaksi di atas dapat diketahui massa jenis dari gas HHO tersebut. Jika pada STP(*standard temperature pressure*) massa jenis H₂ diketahui sebesar ρ_{H2}= 0,08235 gr/lt dan O₂ sebesar ρ_{O2}= 1,3088gr/lt (*Cole Parmer Instrument, 2005*), maka ρ_{HHO} dapat dicari dengan persamaan berikut ini :

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

3. LHV gas HHO

Untuk gas H₂ sendiri memiliki nilai kalor sebesar 119,93 kJ/gram (O'Connor, 2006). Sehingga untuk mengetahui nilai kalor gas HHO ini kita terlebih dahulu harus mengetahui perbandingan massa antara gas H₂ dalam HHO.

Jika massa H₂ dalam gas HHO sebesar 1/9, maka LHV (*lower heating value*) gas HHO adalah 1/9 kali LHV gas H₂, yaitu = 1/9 x 119,93 kJ/g = 13,25 kJ/g atau 3812,754 kcal/kg.

Produk gas HHO (*Brown's gas*) yang terukur pada gelas ukur dalam satuan L/sec, dan energi yang diberikan untuk memproduksi gas HHO adalah energi listrik yang dibutuhkan untuk terjadinya reaksi elektrolisis air dalam satuan watt (J/sec). Maka untuk menghitung efisiensi *electrolyzer* HHO diturunkan dari persamaan berikut ini:

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{\text{Energi yang dimiliki oleh HHO hasil elektrolisis}}{\text{Energi yang dibutuhkan untuk memproduksi gas HHO}} \times 100\% \\ &= \frac{M_{\text{HHO}} \times \text{LHV}_{\text{HHO}}}{P} \times 100\% \\ &= \frac{v_{\text{HHO}} \times \rho_{\text{HHO}} \times \text{LHV}_{\text{HHO}}}{P} \times 100\% \quad (\text{Marlina, 2013}) \quad (2-5)\end{aligned}$$

Keterangan :

- V_{HHO} = Volume gas HHO (*Brown's gas*) yang di hasilkan dalam satu detik (L)
 LHV_{HHO} = nilai energi terendah yang di butuh kan agar HHO dapat bereaksi.
 ρ_{HHO} = massa jenis dari HHO (kg/l)
 P = Daya yang digunakan untuk proses elektrolisis (watt)

2.10 Hipotesa

Semakin tinggi arus yang digunakan maka elektron yang bergerak akan semakin banyak dan membuat pemecahan molekul air lebih cepat terlepas sehingga akan meningkatkan produktivitas *Brown's gas*. Meningkatnya konsentrasi NaHCO₃ akan membantu mempercepat laju reaksi dan menghasilkan produksi *Brown's gas* yang semakin meningkat pula. Sedangkan dengan jarak pelat yang semakin dekat akan membuat volume elektrolit yang ada dicelah tersebut memiliki jumlah yang sedikit sehingga hambatannya kecil. Dengan hambatan yang kecil maka elektron yang bergerak dari katoda ke anoda lebih cepat, hal ini mengakibatkan reaksi semakin cepat dan produksi *Brown's gas* semakin banyak.