

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya mengenai penggunaan elektroliser untuk menghasilkan gas HHO (*Brown's Gas*) telah banyak dilakukan. Yang menjadi dasar dalam penelitian ini yaitu penelitian yang dilakukan oleh Brown (1974), dalam penelitiannya, Brown melakukan elektrolisa air murni sehingga menghasilkan gas HHO yang dinamainya *Brown's Gas* dan dipatenkan olehnya. Lalu penelitian yang dilakukan oleh Himawan (2009), melakukan penelitian dengan memvariasikan arus listrik DC pada elektroliser sebesar 1A, 2A, 3A, 4A dan 5A. Ia menggunakan larutan NaHCO_3 (Natrium Bikarbonat) sebagai katalisator. Dalam penelitiannya, ia menggunakan gas HHO untuk melihat perubahan pada karakteristik kinerja motor bensin empat langkah. Lalu gas HHO tersebut dimasukkan ke dalam ruang bakar motor dan disimpulkan bahwa arus listrik DC yang efektif digunakan untuk proses elektrolisis pada saat arus listrik DC 5A dikarenakan pada arus listrik DC 5A elektroliser menghasilkan jumlah gas HHO paling banyak sehingga efisiensi dari motor bensin meningkat.

Penelitian yang dilakukan oleh Fitriah dan Wahyono (2009), menggunakan elektroliser dengan bentuk silinder dan plat. Sumber listrik yang digunakan berasal dari *Diode Zener 25 A*. Dalam penelitiannya, katalis yang digunakan adalah NaHCO_3 dengan variasi volume katalis 250 ml dan 270 ml. Kecepatan produksi gas yang terbesar adalah pada elektroda berbentuk plat dengan variasi katalis 270 ml.

Suprastowo (2009), pada penelitiannya mengenai perbaikan performa elektroliser dengan variasi konfigurasi larutan elektrolit *baking soda* dalam aquades memvariasikan konfigurasi larutan elektrolit *baking soda* 1 gram, 2 gram, 3 gram, 4gram, 5 gram, 10 gram, 15 gram, dan 20 gram dalam setiap 1 liter aquades. Hasil yang didapatkan bahwa konfigurasi elektrolit *baking soda* 10 gram dengan elektroda luar sebagai katoda memiliki efisiensi elektroliser paling besar.

Besarnya arus listrik yang digunakan untuk proses elektrolisis juga dilakukan oleh Putra (2010). Dalam penelitiannya, proses elektrolisis menggunakan larutan KOH sebagai katalis sedangkan arus listrik berasal dari *power supply* DC sebagai sumber tegangan dengan variasi besaran arus yang digunakan pada *power supply* DC diatur 4A, 4,5A, 5A, 5,5A, dan 6A pada setiap konsentersasi larutan KOH 3,20%, 3,55%, 4%, 4,57% dan 5,33% didapatkan dari hasil penelitian bahwa semakin besaran arus listrik

DC yang digunakan maka produktivitas gas semakin besar yaitu pada besaran arus listrik DC 6A.

Penelitian yang dilakukan oleh Andewi dan Wahyono (2011), dengan memvariasikan tegangan sebesar 2,1V, 6V, 12V dan kadar salinitas 0,5%; 15%; 35%. Semakin besar salinitas yang digunakan maka produksi gas hidrogen semakin banyak. Begitu juga dengan tegangan, semakin besar tegangan yang diberikan semakin banyak produksi gas hidrogen. Produksi optimum sebesar 98mL didapatkan pada salinitas 35% dan tegangan 12V.

Lalu penelitian yang dilakukan oleh Ary (2012), meneliti pengaruh variasi tegangan listrik DC terhadap elektroliser dan pemakaiannya pada mesin motor. Pada penelitiannya, Ia memvariasikan tegangan listrik 3V, 6V, 9V dan 12V. Larutan katalis yang digunakan adalah KOH dengan konsentrasi 0,7 g tiap 1 liter aquades. Didapatkan hasil bahwa tegangan 12V menghasilkan laju produksi gas HHO yang paling tinggi. Performa mesin yang paling baik terjadi pada penambahan elektroliser dengan variasi tegangan 12V.

2.2 Air

Air adalah salah satu senyawa yang penting bagi kehidupan di Bumi sampai saat ini. Sebagian besar Bumi di kelilingi oleh air. Terdapat sekitar 1,4 triliun km³ atau sekitar 330 juta mil³ air yang tersebar di Bumi ini. Air tersebar luas di permukaan Bumi ini sebagian besar terdapat di laut (air asin) dan pada lapisan-lapisan es (di kutub dan puncak-puncak gunung), akan tetapi air juga dapat berbentuk awan, hujan, sungai, muka air tawar, danau, uap air, dan lautan es. Air di Bumi ini membentuk suatu siklus. Siklus tersebut meliputi siklus penguapan, hujan, dan aliran air di atas permukaan tanah (*runoff*, meliputi mata air, sungai, muara) menuju laut (Anonymous_a, 2013).

Air merupakan senyawa kimia dengan rumus kimia H₂O. Suatu molekul air terdiri dari satu atom oksigen dan dua atom hidrogen dihubungkan oleh ikatan kovalen. Pada suhu dan tekanan standar, fase air adalah cair. Air memiliki sifat-sifat tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau pada tekanan 100 kPa (1 bar) dan temperatur 273,15 K (0 °C) (Anonymous_b, 2013). Air ini merupakan suatu larutan yang penting yang digunakan sebagai pelarut zat-zat kimia, seperti garam-garam, gula, asam, beberapa jenis gas dan banyak macam molekul organik (Ardiansyah, 2011). Sifat-sifat air air ditunjukkan pada tabel 2.1 di bawah ini.

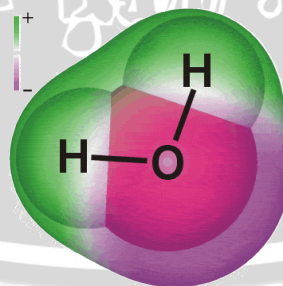
Tabel 2.1 Sifat-sifat air

Property	Water
Formula	H ₂ O
Molecular weight (g mol ⁻¹)	18
Density (kg L ⁻¹)	0.998
Boiling point (K)	373
Molecular volume (nm ³)	0.0299
Volume of fusion (nm ³)	0.0027
Liquid density maximum (K)	277
Specific heat (JK ⁻¹ g ⁻¹)	4.18
(JK ⁻¹ mol ⁻¹)	75.2
Heat of vaporization (kJ g ⁻¹)	2.3
(kJ mol ⁻¹)	41.4
Surface tension (mN m ⁻¹)	72.8
Viscosity (μPa s)	1002
Dielectric constant	78.6
Dipole moment (Cm × 10 ³⁰) ^a	6.01

Values at 293 K unless indicated.
^aIn the gas phase.

Sumber : Sharp (2001)

Ketersediaan air di muka Bumi ini sangat melimpah. Menurut hasil pemetaan air di permukaan bumi yang dipublikasikan oleh *Central Intelligence Agency* (2008), air menutupi hampir 71% permukaan Bumi. Jumlah ini pada dasarnya adalah potensi yang dapat dimanfaatkan, namun faktanya saat ini baru sekitar 23% yang sudah termanfaatkan, di mana hanya sekitar 20% yang dimanfaatkan tersebut digunakan untuk memenuhi kebutuhan air baku rumah tangga, kota dan industri, 80% lainnya dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan irigasi (Hartoyo, 2010). Struktur molekul air ditunjukkan gambar 2.1



Gambar 2.1 Struktur Molekul Air

Sumber : Chaplin (2013)

Dengan ketersediaan air di bumi yang melimpah, pemanfaatan air untuk proses elektrolisis untuk menghasilkan gas HHO (*Brown's Gas*) sangat perlu diaplikasikan dan

dimaksimalkan agar penggunaan energi alternatif ini dapat menjadi bahan bakar pengganti alternatif berkelanjutan.

2.2.1 Air Minum Dalam Kemasan (AMDK)

Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) merupakan air yang telah diolah dengan perlakuan khusus dan dikemas dalam botol atau kemasan lain dan memenuhi persyaratan air minum. AMDK yang terdapat di pasaran di dalamnya terkandung mineral-mineral tertentu. Mineral-mineral tersebut sudah diatur jumlah kadarnya sehingga jika manusia mengkonsumsinya akan aman bagi tubuh.

AMDK dapat dijadikan larutan pada proses elektrolisis. Mineral-mineral yang terkandung dalam AMDK dapat digunakan sebagai elektrolit pada proses elektrolisis sehingga proses elektrolisis menjadi cepat untuk memproduksi *Brown's Gas*. Pada penelitian ini, diambil salah satu AMDK yang terdapat banyak di pasaran sehingga mudah untuk didapatkan. Berikut Tabel 2.2 menunjukkan kandungan mineral dalam salah satu merk AMDK yang tersedia di pasaran.

Tabel 2.2 Kandungan mineral pada salah satu merk AMDK

KANDUNGAN	MINERAL
Sodium	8.5 mg/l
Potasium	1.9 mg/l
Kalsium	14.5 mg/l
Magnesium	4.9 mg/l
Klorida	2.3 mg/l
Bikarbonat	72.0 mg/l

Sumber : Setiandi (2008)

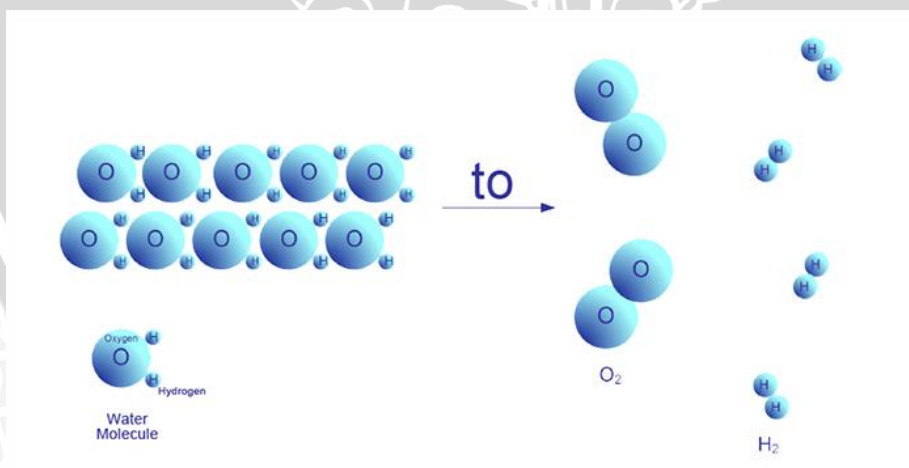
2.3 *Brown's Gas*

Istilah *Brown's Gas* pertama kali ditemukan oleh Brown (1974). *Brown's Gas* atau disebut juga gas HHO (*oxyhydrogen*) adalah campuran gas antara monoatomik dan diatomik H₂ dengan O₂. Penggunaan *Brown's Gas* memiliki karakteristik yang baik dari segi ekonomi, efisiensi energi, dan afinitas lingkungan dibandingkan dengan penggunaan gas asetilena dan LPG (Liquefied Petroleum Gas) pada pengaplikasian

mesin las. Secara khusus, *Brown's Gas* memiliki karakteristik ledakan pada saat dibakar dan menghasilkan afinitas yang baik terhadap lingkungan. Pada proses pembakaran, volume *Brown's Gas* mengempis karena volumenya lebih besar dari campuran gas H_2 dan O_2 sebelum dilakukan proses pembakaran (Yong *et.al.*, 2005).

Salah satu cara untuk menghasilkan *Brown's Gas* adalah dengan proses elektrolisis dengan menggunakan elektroliser yang akan memecah air menjadi berbagai komponennya berupa gas. *Brown's Gas* memiliki kelebihan karakteristik yang tidak biasa layaknya zat-zat kimia yang ada, seperti memiliki api bersuhu sekitar $130^\circ C$ namun mampu melelehkan baja, batu bata dan logam lainnya. *Brown's Gas* tidak sepenuhnya menunjukkan sifat dari monoatomik O maupun H, namun menghasilkan beberapa H_2 dan O_2 saat produksi, tapi tidak sepenuhnya berupa H_2 atau O_2 . Jika arus listrik dialirkan menuju sebuah molekul air, kelebihan elektron akan membagi molekul air dalam 2 molekul bagian yaitu H_2 dan 2 molekul HO yang kemudian 2HO dibagi lagi menjadi molekul O_2 dan H_2 (Chris, 2008).

Gas hidrogen dan oksigen yang dihasilkan dari reaksi ini membentuk gelembung pada elektroda dan dapat dikumpulkan. Prinsip ini kemudian dimanfaatkan untuk menghasilkan hidrogen yang dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan hidrogen (Suyuty, 2011). Pada gambar 2.2 menunjukkan gambar proses pembentukan *Brown's Gas*.



Gambar 2.2 Pembentukan *Brown's Gas*

Sumber : Anonymous_c (2012)

2.3.1 Hidrogen

Proses dari elektrolisis air ini menghasilkan unsur gas berupa gas hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2). Hidrogen dan oksigen merupakan unsur gas yang apabila digunakan

untuk proses pembakaran akan menghasilkan ledakan dengan panas yang tinggi. Hidrogen merupakan suatu unsur kimia yang memiliki nomor atom 1 dan massa atom 1,00797 yang diberi lambang H (Anonymous_d, 2013). Hidrogen merupakan unsur kimia paling ringan dan melimpah dengan persentase kira-kira 75% dari total massa unsur alam semesta dibandingkan unsur-unsur kimia lainnya (David, 1997).

Hidrogen memiliki sifat ledakan dan oksigen memiliki sifat untuk mendukung proses pembakaran sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif (Indra, 2010). Pada suhu dan tekanan standar, hidrogen memiliki sifat-sifat yaitu tidak berwarna, tidak berbau, bersifat non-logam, bervalensi tunggal, dan merupakan gas diatomik yang sangat mudah terbakar. Senyawa hidrogen relatif langka dan jarang dijumpai secara alami di Bumi. Biasanya hidrogen dihasilkan secara industri dari berbagai senyawa hidrokarbon seperti metana (CH₄). Hidrogen memiliki entalpi pembakaran sebesar -286 kJ/mol. Hidrogen terbakar menurut persamaan kimia:



Ketika gas hidrogen dicampur dengan oksigen dalam berbagai perbandingan, hidrogen meledak seketika saat disulut dengan api. Pada temperatur 560 °C, gas tersebut akan meledak dengan sendirinya tanpa disulut dengan api (Staff, 2005). Sifat-sifat fisis hidrogen ditunjukkan tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 2.3 Sifat fisis 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 (2012)

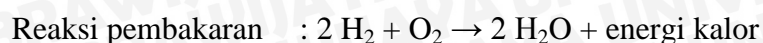
2.3.2 Oksigen

Oksigen merupakan unsur kimia yang pada 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 mempunyai sifat fisik yaitu memiliki dua atom. Unsur ini berikatan menjadi ikatan dioksigen, yaitu senyawa gas diatomik dengan rumus O_2 yang memiliki sifat-sifat gas yang relatif sama dengan hidrogen yaitu tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau (Dianty, 2009). Oksigen merupakan unsur melimpah pada urutan ketiga di alam semesta berdasarkan massa dan unsur paling melimpah di kerak Bumi (Emsley, 2001). Gas oksigen diatomik mengisi 20,9% volume atmosfer bumi (Cook dan Lauer, 1968).

Oksigen memiliki sifat kelarutan yang lebih besar dalam air daripada nitrogen. Air mengandung sekitar satu molekul O_2 untuk setiap dua molekul N_2 . Kelarutan oksigen dalam air bergantung pada suhu. Pada suhu $0\text{ }^\circ\text{C}$, konsentrasi oksigen dalam air adalah 14,6 mg/L, manakala pada suhu $20\text{ }^\circ\text{C}$ oksigen yang larut dalam air adalah sekitar 7,6 mg/L (Emsley, 2001). Pada suhu $25\text{ }^\circ\text{C}$ dan 1 atm udara, air tawar mengandung 6,04 mL O_2 per liter, manakala dalam air laut mengandung sekitar 4,95 mL O_2 per liter (Evans, *et. al.*, 2006). Pada suhu $5\text{ }^\circ\text{C}$, kelarutan oksigen bertambah menjadi 9,0 mL (50% lebih banyak daripada $25\text{ }^\circ\text{C}$) per liter untuk air murni dan 7,2 mL (45% lebih) per liter untuk air laut. Oksigen mengembun pada suhu 90,20 K ($-182,95\text{ }^\circ\text{C}$, $-297,31\text{ }^\circ\text{F}$), dan membeku pada suhu 54,36 K ($-218,79\text{ }^\circ\text{C}$, $-361,82\text{ }^\circ\text{F}$).

Baik oksigen cair dan oksigen padat memiliki karakteristik warna biru langit. Oksigen cair dapat dihasilkan dari pengembunan udara, menggunakan nitrogen cair dengan pendingin. Oksigen merupakan zat yang sangat reaktif dan harus dijauhkan dari bahan-bahan yang mudah terbakar.

Untuk proses pembakaran unsur hidrogen dan oksigen akan menghasilkan air sebagai hasil reaksi dari pembakaran antara unsur hidrogen dan oksigen. Jika digunakan sebagai campuran bahan bakar akan menghasilkan bahan bakar yang ramah lingkungan. Campuran stoikiometri murni dapat diperoleh dari elektrolisis air, yang menggunakan arus listrik untuk memecahkan molekul air:



Dikarenakan penggunaannya yang aman dan ramah bagi lingkungan, perlu dilakukan pengoptimalan produksi dari hasil proses elektrolisa air ini yaitu berupa gas hidrogen dan oksigen.

2.4 Katalisator

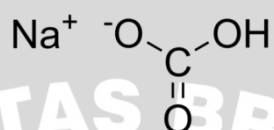
Katalisator merupakan suatu zat yang ditambahkan ke dalam sistem yang akan direaksikan untuk mempercepat reaksi di dalamnya. Katalisator memiliki fungsi yang sangat penting, oleh karena itu penggunaan katalis menjadi kebutuhan yang sangat penting dalam berbagai industri. Kebutuhan akan penggunaan katalis dalam berbagai proses industri cenderung mengalami peningkatan dikarenakan proses kimia dengan penggunaan katalis cenderung lebih ekonomis dibandingkan tanpa penggunaan katalis (Lestari, 2012). 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 temperatur, tekanan, laju alir, waktu kontak, jenis umpan yang digunakan, dan jenis padatan pendukung yang digunakan (Rieke dkk., 1997).

Katalis mempunyai karakteristik yang terkadang terlibat dalam reaksi tetapi tidak mengalami perubahan kimiawi yang permanen dalam proses reaksi tersebut, dengan kata lain pada akhir proses reaksi, katalis akan dijumpai kembali dalam bentuk dan jumlah yang sama seperti sebelum reaksi. Fungsi katalis adalah mempercepat proses reaksinya yaitu dengan jalan memperkecil energi pengaktifan suatu reaksi. Dengan menurunnya energi pengaktifan, maka pada temperatur yang sama, proses reaksi yang berlangsung dapat menjadi lebih cepat. Ada dua macam katalisator, yaitu katalisator positif dan negatif. Katalisator positif berfungsi untuk mempercepat reaksi dan katalisator negatif berfungsi untuk memperlambat reaksi (Sinaga, 2010).

Pada proses elektrolisis dibutuhkan suatu elektrolit yang dijadikan sebagai katalisator untuk mempercepat reaksi pertukaran ion-ion di dalamnya. Umumnya kenaikan konsentrasi katalisator mempengaruhi kecepatan reaksi dari proses elektrolisis. Semakin besar konsentrasi katalis maka akan mempercepat reaksi dan katalisator menurunkan tenaga aktivasi hingga kecepatan reaksi lebih besar (Sukardjo, 1985). Hal tersebut juga diungkapkan pada penelitian yang dilakukan oleh Putra (2010), semakin besar konsentrasi dari katalis yang digunakan, maka hambatan listrik dalam larutan akan semakin kecil.

2.4.1 Natrium Bikarbonat (NaHCO_3)

Salah satu elektrolit yang dapat digunakan untuk katalisator pada proses elektrolisis adalah Natrium Bikarbonat (NaHCO_3) atau lebih dikenal dengan nama soda kue. Senyawa ini termasuk kelompok garam dan telah lama digunakan. Natrium Bikarbonat umumnya diproduksi melalui proses *Solvay*, yang memerlukan reaksi natrium klorida, amonia, dan karbon dioksida dalam air. Gambar 2.3 menunjukkan struktur kimia Natrium Bikarbonat.



Gambar 2.3 Struktur Kimia Natrium Bikarbonat

Sumber : Anonymous_e (2013)

Natrium Bikarbonat (NaHCO_3) diproduksi sebanyak 100.000 ton/tahun (Holleman, 2001). Natrium bikarbonat larut dalam air dan bersifat alkaloid (basa).

Reaksi NaHCO_3 (natrium bikarbonat) dengan H_2O (air) pada proses elektrolisis adalah sebagai berikut :



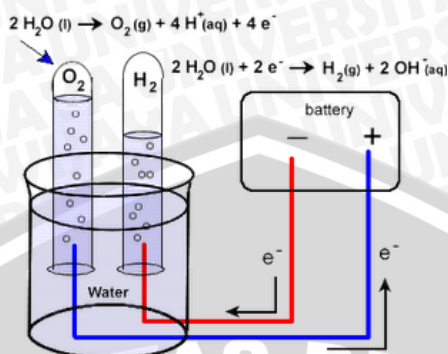
2.5 Elektrolisis

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

Elektrolisis merupakan proses kimia yang mengubah energi listrik menjadi energi kimia. Proses elektrolisa memisahkan molekul air menjadi gas hidrogen dan oksigen salah satunya adalah dengan cara mengalirkan arus listrik ke elektroda ke tempat larutan elektrolit yaitu campuran air yang sudah ditambahkan katalis berada.

Reaksi elektrolisis tergolong reaksi redoks tidak spontan, reaksi itu dapat berlangsung karena pengaruh energi listrik. Pada elektrolisis yang menghasilkan H_2 dan O_2 , mulai timbulnya kedua gas ini setelah penggunaan tegangan lebih besar dari 1,7

Volt (Achmad,1992). Pergerakan elektron pada proses elektrolisa dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Elektrolisa Air

Sumber : Burhani (2011)

Ada tiga tahap proses elektrolisis, yaitu:

1. Adanya larutan elektrolit yang mengandung ion bebas di dalamnya. Ion-ion ini dapat membantu memberikan atau menerima elektron sehingga elektron dapat mengalir melalui larutan.

- a. Larutan elektrolit kuat

Adalah larutan yang dapat menghantarkan arus listrik dengan baik. Larutan elektrolit kuat biasanya ditandai dengan lampu yang menyala terang dan adanya banyak gelembung gas yang dihasilkan saat diuji. Hal ini dikarenakan pada larutan elektrolit kuat, seluruh molekul-molekulnya terurai menjadi ion-ion atau terionisasi secara sempurna yang ditandai satu arah pada persamaan reaksinya karena banyaknya ion-ion yang menghantarkan arus listrik dengan demikian daya hantarnya kuat. NaHCO_3 termasuk ke dalam elektrolit kuat dan kelompok garam yang terbentuk dari asam kuat yang berasal dari asam kuat H_2CO_3 terionisasi menjadi H^+ dan HCO_3^- juga berasal dari basa kuat NaOH terionisasi menjadi Na^+ dan OH^- (Marlina, 2013).

- b. Larutan elektrolit lemah

Adalah larutan yang dapat menghantarkan arus listrik namun lemah. Elektrolit lemah ditandai dengan lampu yang menyala redup atau lampu yang tidak menyala saat diuji, namun dalam larutan timbul gelembung gas. Hal ini disebabkan karena zat terlarut akan terurai sebagian atau tidak terionisasi secara

sempurna menjadi ion-ion sehingga dalam larutan tersebut hanya sedikit mengandung ion.

c. Larutan non-elektrolit

Adalah larutan yang tidak dapat menghantarkan arus listrik. Larutan non-elektrolit saat diuji tidak menunjukkan munculnya gelembung gas dan lampu yang tidak menyala. Hal ini dikarenakan larutan non-elektrolit tidak memiliki molekul-molekulnya yang terurai menjadi ion-ion atau tidak terionisasi sehingga tidak ada ion-ion yang bermuatan yang menghantarkan listrik. Tabel 2.4 di bawah ini menunjukkan gambaran sifat larutan dari elektrolit kuat lemah dan non elektrolit.

Tabel 2.4 Gambaran sifat larutan dari elektrolit kuat, elektrolit lemah dan non elektrolit

Jenis Larutan	Sifat dan Pengamatan Lain	Contoh Senyawa	Reaksi Ionisasi
Elektrolit Kuat	<ul style="list-style-type: none"> • terionisasi sempurna • menghantarkan arus listrik • lampu menyala terang • terdapat gelembung gas 	NaCl, HCl, NaOH, H ₂ SO ₄ , dan KCl	$\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ $\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^-$ $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$ $\text{KCl} \rightarrow \text{K}^+ + \text{Cl}^-$
Elektrolit Lemah	<ul style="list-style-type: none"> • terionisasi sebagian • menghantarkan arus listrik • lampu menyala redup • terdapat gelembung gas 	CH ₃ COOH, NH ₄ OH, HCN, dan Al(OH) ₃	$\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{H}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$ $\text{HCN} \rightarrow \text{H}^+ + \text{CN}^-$ $\text{Al(OH)}_3 \rightarrow \text{Al}^{3+} + 3\text{OH}^-$
Non Elektrolit	<ul style="list-style-type: none"> • tidak terionisasi • tidak menghantarkan arus listrik • lampu tidak menyala • tidak terdapat gelembung gas 	C ₆ H ₁₂ O ₆ , C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ , CO(NH ₂) ₂ , dan C ₂ H ₅ OH	C ₆ H ₁₂ O ₆ , C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ , CO(NH ₂) ₂ , C ₂ H ₅ OH

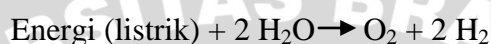
Sumber : Oktaviana (2011)

2. Adanya sumber arus listrik, contohnya *regulator* yang mengalirkan arus listrik searah (DC).
3. Terdapatnya 2 elektroda dalam sel elektrolisis yaitu elektroda yang menerima elektron dari sumber arus listrik luar dengan kutub negatif disebut katoda, sedangkan elektroda yang mengalirkan elektron kembali ke sumber arus listrik luar dengan kutub positif disebut anoda.

Molekul air dipecah menjadi unsur-unsur asalnya dengan mengalirnya arus listrik. Proses ini disebut elektrolisis air. Faktor-Faktor yang mempengaruhi elektrolisis air :

1. Kualitas Elektrolit
2. Suhu
3. Tekanan
4. Resistansi Elektrolit
5. Material dari elektroda
6. Material pemisah

Persamaan kimia elektrolisis air adalah sebagai berikut:



Ada 2 prinsip yang khas dari elektrolisis yaitu kaitan antara beda potensial yang digunakan dan arus yang mengalir melalui sel elektrolisis. Pada saat elektrolisis mulai berlangsung potensial urai elektron tiba-tiba bertambah dan menghasilkan hidrogen dan oksigen (Achmad,1992).

Agar terjadinya proses elektrolisis diperlukan potensial minimum karena :

1. Adanya beda potensial antara elektroda menyebabkan ion-ion dalam sistem bergerak ke elektroda. Hidrogen dan oksigen yang mula-mula terbentuk menutupi permukaan elektroda dan reaksi sebaliknya yang terjadi.



2. Diperlukan potensial tambahan untuk discas ion pada elektrolisis yang disebut potensial lebih (*over potential*). Potensial lebih merupakan ukuran energi pengaktifan bagi reaksi elektroda. Reaksi pada elektroda untuk menghasilkan gas memerlukan potensial lebih yang besar (Putra, 2010).

Proses produksi gas *Brown's Gas* dengan proses elektrolisis secara teoritis didasarkan pada hukum Faraday. Dasar dari penggunaan elektrolisis adalah pada saat Faraday menyelidiki hubungan antara jumlah listrik yang mengalir dalam sel dan kuantitas kimia yang berubah di elektroda saat elektrolisis. Ia merangkumkan hasil pengamatannya dalam dua hukum di tahun 1833 (Mulyati dan Hendrawan 2003). Dua hukum elektrolisis Faraday tersebut berbunyi :

1. Jumlah zat yang dihasilkan di elektroda sebanding dengan jumlah arus listrik yang melalui sel.

2. Bila sejumlah tertentu arus listrik melalui sel, jumlah mol zat yang berubah di elektroda adalah konstan tidak bergantung jenis zat. Misalnya, kuantitas listrik yang diperlukan untuk mengendapkan 1 mol logam monovalen adalah 96.500 C (Coulomb) tidak bergantung pada jenis logamnya (Petrucci, 2000).

Dari hukum Faraday yang berbunyi di atas, dituliskan dalam persamaan (2-1), (2-2) dan (2-3) seperti berikut ini :

1. Hukum Faraday I

Massa zat yang terbentuk pada masing-masing elektroda sebanding dengan kuat arus/arus listrik yang mengalir pada elektrolisis tersebut.

$$m = \frac{e \cdot i \cdot t}{96500} \quad (2-1)$$

Dengan :

m = Massa zat yang dihasilkan (gram)

e = Berat ekuivalen = $\frac{Ar}{Valensi} = \frac{Mr}{Valensi}$

i = Kuat arus listrik (A)

t = Waktu (detik)

q = Muatan listrik (Coulomb)

2. Hukum Faraday II

Massa dari macam-macam zat yang diendapkan pada masing-masing elektroda oleh sejumlah arus listrik yang sama banyaknya akan sebanding dengan berat ekuivalen masing-masing zat tersebut.

$$m_1 : m_2 = e_1 : e_2 \quad (2-2)$$

Dengan :

m = Massa zat (gram)

e = Berat ekuivalen = $\frac{Ar}{Valensi} = \frac{Mr}{Valensi}$

3. Efisiensi

Menghitung efisiensi dengan membandingkan volume produksi H₂O aktual dengan volume teoritis.

$$Efisiensi (\%) = \frac{V_{produksi}}{V_{teoritis}} \times 100\% \quad (2-3)$$

2.6 Elektroliser

Elektroliser adalah tempat terjadinya proses elektrolisis yaitu proses pemecahan molekul air menjadi oksigen dan hidrogen (Fitriah dan Wahyono 2009). Elektroliser

terdiri atas sel elektrolitik yang berisi elektrolit (larutan atau leburan), dan dua elektroda, anoda dan katoda.

Pada anoda terjadi reaksi oksida sedangkan pada elektroda katoda terjadi reaksi reduksi. Pada suatu percobaan elektrolisa reaksi yang terjadi pada katoda bergantung pada kecenderungan terjadinya reaksi reduksi (Budi, 2006).

Saat ini ada 2 jenis elektroliser (*Brown's Gas*) yaitu tipe basah (*wet type*) dan tipe kering (*dry type/dry cell*). Tipe basah (*wet type*) adalah elektroliser dimana elektrodanya terendam elektrolit di dalam sebuah bejana air, sedangkan tipe kering (*dry type/dry cell*) adalah elektroliser dimana elektrodanya tidak terendam elektrolit dan elektrolit hanya mengisi celah-celah antara elektroda itu sendiri (Gunawan, 2012). Pada penelitian ini, elektroliser yang digunakan adalah jenis *wet cell*. Berikut gambar elektroliser *Wet Cell* yang ditunjukkan gambar 2.5



Gambar 2.5 Elektroliser *Wet Cell*

Sumber : <http://www.digitalsweetwater.com/gen-testing.html>

2.6.1 Elektroda

Elektroda dalam sel elektrokimia dapat disebut sebagai anoda atau katoda. Elektroda dalam sel elektrolisa disebut sebagai anoda dan katoda. Anoda didefinisikan sebagai elektroda positif dimana elektron datang dari sel elektrolisa dan oksidasi terjadi, sedangkan katoda didefinisikan sebagai elektroda negatif dimana elektron memasuki sel elektrolisa dan reduksi terjadi. Setiap elektroda dapat menjadi sebuah anoda atau katoda tergantung dari tegangan listrik yang diberikan ke sel elektrokimia tersebut. Elektroda bipolar adalah elektroda yang berfungsi sebagai anoda dari sebuah sel elektrokimia dan katoda bagi sel elektrokimia lainnya (Faraday, 1834).

Penggunaan medan listrik pada logam dapat menyebabkan seluruh elektron bergerak bebas dalam logam dengan arah sejajar dan berlawanan dengan arah medan listrik. Ukuran dari kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik dapat diketahui jika beda potensial listrik ditempatkan pada ujung-ujung sebuah konduktor dan muatan-muatan bergerak akan berpindah sehingga menghasilkan arus listrik. Konduktivitas listrik didefinisikan sebagai rasio rapat arus terhadap kuat medan listrik. Alesandro Giuseppe Volta (1825) telah menyusun urutan logam-logam yang dikenal saat itu saat baru berjumlah 20 jenis, dari sifat logam reduktor terkuat hingga reduktor terlemah berdasarkan eksperimen yang telah dilakukannya. Konduktivitas listrik dapat dilihat pada deret volta. Deret Volta :

Li K Ba Sr Ca Na Mg Al Mn Zn Cr Fe Cd Co Ni Sn Pb H Sb Bi Cu Hg Ag Pt Au

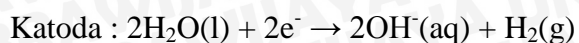
Semakin ke kanan maka semakin besar massa jenisnya (Suyuty, 2011). Berikut ditunjukkan bentuk elektroda pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Elektroda
Sumber : JLN Labs (2013)

2.6.1.1 Reaksi Pada Katoda (Reduksi)

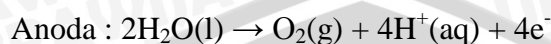
Jenis kation yang terdapat di dalam larutan yang akan dielektrolisis berpengaruh terhadap reaksi yang terjadi di katoda. Jika kation berasal dari logam-logam aktif (logam golongan IA, IIA, Al atau Mn), yaitu logam-logam yang potensial elektrodanya lebih kecil, maka air yang tereduksi. Pada katoda, terjadi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



2.6.1.2 Reaksi Pada Anoda (Oksidasi)

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

Reaksi pada anoda :



2.7 Arus Listrik

Materi tersusun atas partikel-partikel yang sangat kecil yang disebut atom. Atom sendiri terdiri atas partikel sub-atom yang tersusun atas elektron, proton dan neutron dalam berbagai gabungan. Elektron merupakan partikel sub-atom yang bermuatan negatif (-) listrik yang paling mendasar. Elektron-elektron dalam cangkang terluar atom disebut elektron valensi. Apabila energi eksternal seperti kalor, cahaya, atau listrik diberi pada sebuah materi maka elektron-elektron valensi akan mendapat energi dan akan berpindah ke tingkat energi yang lebih tinggi. Jika elektron mendapat energi yang cukup maka elektron valensi tersebut akan keluar dari atomnya dan statusnya menjadi elektron bebas. Pergerakan dari elektron-elektron bebas membawa muatan-muatan listrik dan hal inilah yang menjadi arus listrik dalam konduktor logam.

Arus listrik adalah banyaknya muatan listrik yang disebabkan dari pergerakan elektron-elektron yang mengalir melalui suatu titik dalam sirkuit listrik tiap satuan waktu. Arus listrik dapat diukur dalam satuan Coulomb/detik (C/det) atau Ampere (A) seperti yang dijelaskan pada persamaan 2-4 (Bird, 2010).

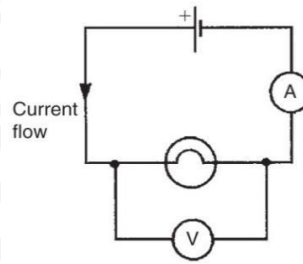
$$I = \frac{Q}{t} \quad (\text{Bird, 2010}) \quad (2-4)$$

Keterangan :

I = Arus listrik [A]

Q = Banyaknya muatan listrik [C]

T = Waktu [s]



Gambar 2.7 Arah aliran arus pada rangkaian listrik DC

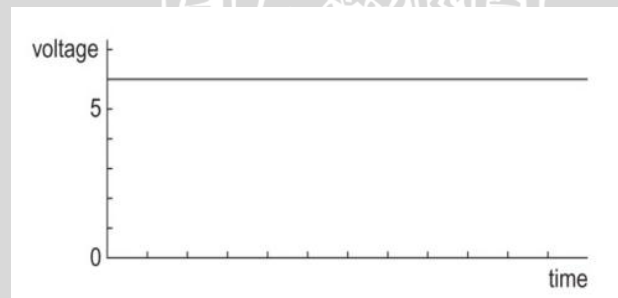
Sumber: Bird (2010)

Arus listrik dibangkitkan oleh dua kutub sumber listrik yang mempunyai beda potensial. Satuan dasar beda potensial *volt* (V), karena satuan inilah beda potensial V sering disebut *voltage* (Bird, 2010).

Berdasarkan perubahan *voltage* terhadap waktu arus listrik dibedakan menjadi dua tipe yaitu arus Direct Current (DC, Arus Searah) dan Alternating Current (AC, Arus Bolak-balik).

2.7.1 Arus Searah (DC)

Arus searah (DC) adalah arus listrik yang nilai polaritas tegangannya bernilai tetap terhadap waktu. Aliran arus satu arah dihasilkan oleh sumber tegangan arus searah (DC) yang tidak mengubah polaritas tegangan keluarannya.

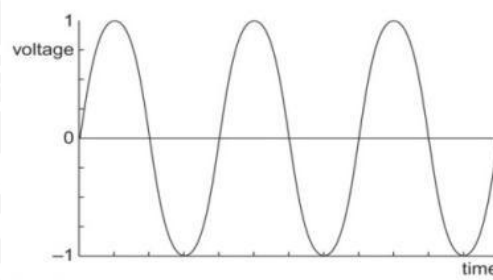


Gambar 2.8 Sifat tegangan DC

Sumber: Bishop (2011)

2.7.2 Arus Bolak-balik (AC)

Pada arus AC nilai dari polaritas tegangan berubah-ubah sepanjang waktu membentuk gelombang sinusoida seperti pada gambar 2.9. Arus listrik AC sering digunakan untuk aplikasi rumah tangga karena kemudahan pendistribusiannya.



Gambar 2.9 Sifat tegangan AC

Sumber: Bishop (2011)

Sumber berasal dari arus AC diubah menjadi sumber arus DC untuk melakukan proses elektrolisis. Pada penelitian ini, *regulator* yang digunakan menghasilkan arus DC sehingga secara teori arus keluarannya akan mengikuti persamaan-persamaan pada arus DC diantaranya hukum Ohm dan daya pada arus DC seperti yang akan dijelaskan pada bagian berikut.

2.7.3 Hukum Ohm dan Daya dalam Rangkaian Listrik DC

Hukum Ohm mendefinisikan hubungan antara arus (A), tegangan (V), dan Resistensi (R). Cara untuk menyatakan hukum Ohm dalam persamaan matematis dinyatakan pada persamaan 2-5.

$$V = I.R \quad (\text{Bird, 2010}) \quad (2-5)$$

Keterangan:

V = Tegangan listrik [V]

I = Arus listrik [A]

R = Resistensi [Ohm]

Daya listrik yang digunakan dalam sebarang bagian dalam rangkaian DC sama dengan perkalian antara arus yang mengalir dengan voltase rangkaian. Secara matematis dinyatakan dengan persamaan (2-6).

$$P = V.I \quad (\text{Bird, 2010}) \quad (2-6)$$

Keterangan:

P = Daya listrik [Watt]

I = Arus listrik [A]

V = Tegangan listrik [V]

Hukum Ohm dapat menjelaskan hubungan antara daya dengan resistensi seperti ditunjukkan pada persamaan (2-7) berikut:

$$P = V.I = \{I.R\}.I = I^2.R \quad (\text{Bird, 2010}) (2-7)$$

Keterangan:

P = Daya listrik [Watt]

I = Arus listrik [A]

V = Tegangan listrik [V]

R = Resistensi [Ω]

2.8 Proses Produksi *Brown's Gas*

Salah satu cara untuk menghasilkan gas HHO (*Brown's Gas*) adalah melalui proses elektrolisis dengan bantuan energi listrik. Listrik yang digunakan adalah listrik arus searah (DC). Gas hidrogen dan oksigen dalam air dipisahkan dengan cara elektrolisis. Melalui teknik pemisahan, ternyata menghasilkan materi yang lebih penting dan lebih mahal harganya (Hendayana, 2006). Pada penelitian ini, adapun parameter yang dihitung, seperti :

1. Konsumsi daya untuk proses elektrolisis pada variasi penambahan arus listrik (P)
2. Volume alir *Brown's Gas* per detik (Q_{HHO})
3. Efisiensi (η)
4. Hambatan (Ω)

Sumber energi listrik yang digunakan untuk proses elektrolisis ini adalah berasal dari regulator yang bersumber dari sumber listrik arus bolak-balik (AC) dan diubah menjadi sumber listrik arus searah (DC). Penambahan besaran arus listrik akan menambah besaran tegangan yang menyebabkan akan meningkatnya konsumsi daya listrik untuk proses elektrolisis.

Sebuah elektroliser diisi dengan air yang dicampur dengan katalis NaHCO_3 dengan konsentrasi yang telah ditentukan sehingga air tersebut bertindak sebagai konduktor untuk menghantarkan arus listrik. Penambahan katalis tersebut mengurangi hambatan yang terdapat pada larutan tersebut sehingga proses elektrolisis dapat berlangsung secara cepat. Campuran air dan katalis disebut dengan larutan, dalam larutan tersebut dipasang dua buah elektroda masing-masing adalah elektroda positif atau anoda dan elektroda negatif atau katoda. Bagian anoda dihubungkan dengan kutub positif listrik arus searah dan katoda pada kutub negatifnya. Bahan yang digunakan untuk katoda dan anoda adalah *Stainless Steel 304L*. Berikut adalah komposisi logam yang tersusun pada *Stainless Steel 304L* yang ditunjukkan oleh tabel 2.5 di bawah ini.

Tabel 2.5 Komposisi Logam Penyusun *Stainless Steel 304L*

Chemical Composition (% by weight)				
Element	304		304L	
	Min	Max	Min	Max
C	-	0.08	-	0.08
Mn	-	2	-	2
Ni	8	10.50	8	12.00
Cr	18	20	18	20
S	-	0.03	-	0.03
N	-	0.1	-	0.1
Si	-	0.75	-	0.75
P	-	0.045	-	0.045

Sumber : Anonymous_f (2011)

Jika arus mengalir, maka terjadilah peristiwa elektrolisis, sehingga atom-atom hidrogen dari air akan kehilangan elektronnya, sedangkan atom-atom oksigen mendapat tambahan elektron. Dengan demikian atom hidrogen menjadi ion bermuatan positif dan atom oksigen menjadi sebuah ion bermuatan negatif. Karena bermuatan positif, ion-ion H^+ akan tertarik ke katoda yang bermuatan negatif. Pada saat menyentuh katoda ion H^+ akan menerima sebuah elektron dan kembali menjadi atom H biasa tanpa bermuatan. Atom-atom hidrogen ini bergabung menjadi gas H_2 dalam bentuk gelembung-gelembung dan melalui katoda akan naik ke atas keluar dari reaktor. Sedangkan ion-ion bermuatan negatif atau anion bergerak dari katoda ke anoda untuk oksidasi sehingga terbentuklah *Brown's Gas*.

Brown's Gas yang terbentuk diukur dengan menggunakan gelas ukur yang mempunyai skala. Untuk mengetahui volume alir *Brown's Gas* dihitung dengan persamaan (2-8) berikut.

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

Dimana :

Q = Debit (ml/s)

V = Volume *Brown's Gas* yang ditampung dalam gelas ukur (ml)

t = Waktu yang diperlukan untuk menghasilkan *Brown's Gas* (s)

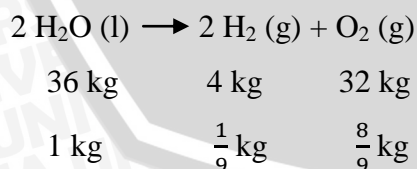
Dalam memproduksi *Brown's Gas*, diperlukan energi listrik untuk memecah molekul air untuk menjadi gas. Efisiensi dari suatu elektroliser dapat diketahui dengan perbandingan dari energi *Brown's Gas* yang terbentuk dengan energi listrik yang

digunakan. Untuk mengetahui energi *Brown's Gas* yang dihasilkan harus diketahui massa jenis dan nilai kalor dari *Brown's Gas*.

Karakteristik *Brown's Gas* cenderung memiliki karakteristik yang hampir sama dengan gas penyusunnya yaitu gas H₂, karena kandungan H₂ sebesar 2/3 volume *Brown's Gas*. Jika pada kondisi STP (*Standard Temperature Pressure*), massa jenis H₂ (ρ_{H_2}) diketahui sebesar 0.08235 gr/dm³ dan massa jenis O₂ (ρ_{O_2}) sebesar 1.3088 gr/dm³ (*Cole Parmer Instrument, 2005*). Dengan demikian, ρ_{HHO} dapat diketahui dengan persamaan (2-9) berikut ini :

$$\begin{aligned}\rho_{HHO} &= \frac{m_{HHO}}{V_{HHO}} && \text{(Marlina, 2013) (2-9)} \\ &= \frac{(m_{H_2} + m_{O_2})}{V_{HHO}} \\ &= \frac{(\rho_{H_2} \cdot V_{H_2} + \rho_{O_2} \cdot V_{O_2})}{V_{HHO}} \\ &= \frac{(\rho_{H_2} \cdot \frac{2}{3} V_{HHO} + \rho_{O_2} \cdot \frac{1}{3} V_{HHO})}{V_{HHO}} \\ &= \frac{2}{3} \rho_{H_2} + \frac{1}{3} \rho_{O_2} \\ \rho_{HHO} &= \left(\frac{2}{3} \times 0.08235\right) + \left(\frac{1}{3} \times 1.3088\right) \\ &= 0.491167 \text{ gr/dm}^3 \\ &= 0.491167 \text{ gr/l}\end{aligned}$$

Selain massa jenis *Brown's Gas* (ρ_{HHO}), harus diketahui pula nilai kalor dari *Brown's Gas* (LHV_{HHO}). Gas H₂ memiliki nilai kalor sebesar 119,93 kJ/g (*O'Connor, 2006*). Oleh karena itu, untuk menghitung nilai kalor dari *Brown's Gas* harus diketahui terlebih dahulu perbandingan massa gas H₂ dalam *Brown's Gas*. Jika massa H₂O yang dielektrolisis sebanyak 1 kg, maka massa produk total H₂ dan O₂ juga 1 kg sehingga jika diketahui Mr H₂O = 18, Mr H₂ = 2, Mr O₂ = 32, maka dapat diketahui mol H₂ :



Dari perbandingan mol pada reaksi kimia pada proses elektrolisis air tersebut dapat dihitung massa H₂ dalam 1 kg *Brown's Gas*.

$$M_{H_2} = Mr_{H_2} \times \text{mol} = 2 \times \frac{1 \text{ kg}}{18} = \frac{1}{9} \text{ kg}$$

Dengan demikian, diketahui massa H₂ sebesar $\frac{1}{9}$ dalam *Brown's Gas*, maka LHV_{HHO} dapat diketahui yaitu sebesar 1/9 kali $LHV_{H_2} = 1/9 \times 119,23 \text{ kJ/g} = 13,25 \text{ kJ/g}$

= 13250 J/g. Setelah diketahui massa jenis dan nilai kalor *Brown's Gas*, maka kita dapat menghitung efisiensi. Efisiensi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-10) berikut.

$$\eta_{\text{HHO}} = \frac{V_{\text{HHO}} \times \rho_{\text{HHO}} \times \text{LHV}_{\text{HHO}}}{P} \times 100\% \quad (\text{Marlina, 2013}) \quad (2-10)$$

Dimana :

ρ_{HHO} = Massa jenis *Brown's Gas* [gr/l]

LHV_{HHO} = Low Heating Value, nilai kalor bawah *Brown's Gas* [J/gr]

P = Energi listrik yang digunakan [J/s]

Dalam penelitian ini, divariasikan besaran arus listrik dengan penggunaan beberapa macam larutan. Semakin besar tegangan yang diberikan maka arus listrik semakin besar dan banyak gelembung-gelembung yang muncul dari permukaan katoda sehingga produksi *Brown's Gas* meningkat seiring pertambahan arus listrik (Putra, 2010).

2.9 Hipotesa

Penambahan besaran arus listrik akan mempercepat laju proses pemecahan molekul-molekul air menjadi gas sehingga meningkatkan volume alir gas yaitu *Brown's Gas*, dengan meningkatnya volume alir *Brown's Gas* maka produksi *Brown's Gas* semakin besar.