

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

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

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

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

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

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

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

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

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

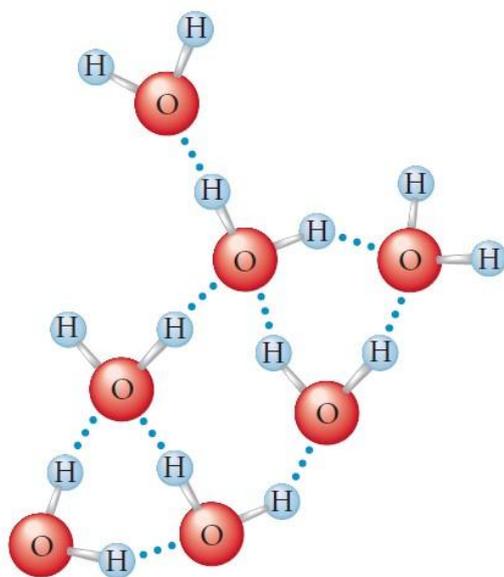
Untuk meningkatkan peforma generator HHO pada penelitian Arifin dkk (2015) tentang penggunaan pelat netral *Stainless steel* 316 dan Alumunium terhadap performa Generator HHO tipe *Dry Cell*. Hasil penelitiannya menunjukkan untuk pelat netral alumunium dapat meningkatkan nilai performa generator HHO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

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

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

2.2 Air

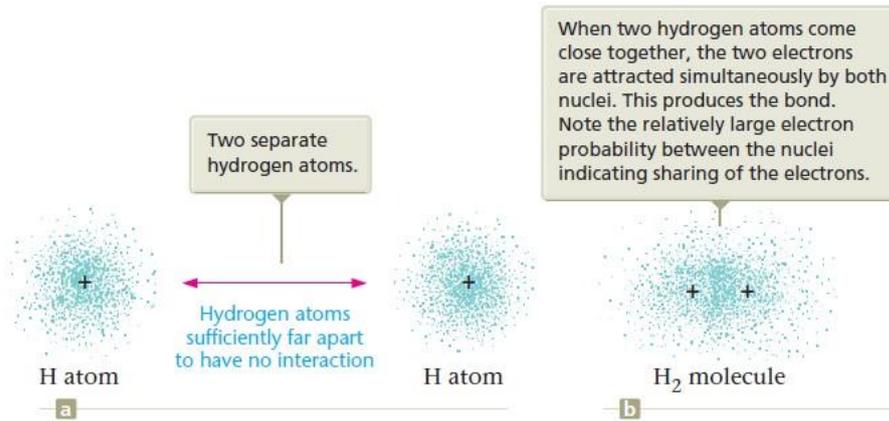
Air adalah senyawa kimia yang mempunyai rumus H_2O dimana dalam satu molekul air terdapat 2 atom hidrogen dan 1 atom oksigen. Air merupakan cairan tidak berbau, tidak berwarna dan tidak berasa. Air bersifat polar yaitu pelarut yang baik untuk bermacam-macam zat, molekul air terikat oleh ikatan hidrogen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



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

2.2.1 Hidrogen

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



Gambar 2.2 Molekul hidrogen
Sumber : Zumdahl (2010)

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

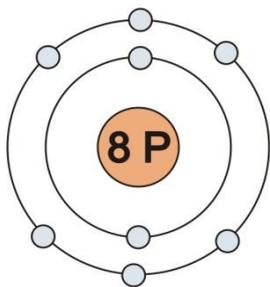
Tabel 2.1
Properties of Hydrogen

<i>Characteristic</i>	<i>Value</i>
<i>Vapor Density (at 68 F; 20 °C, 1 atm)</i>	0.005229 lb/ft ³ (0.08376 kg/m ³)
<i>Liquid Density (at normal boiling point, 1 atm)</i>	4.432 lb/ft ³ (70.8 kg/m ³)
<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 & 15 °C)</i>	270 Btu/ft ³ (10,050 kJ/m ³);
<i>Flashpoint</i>	< -423 °F (< -253 °C; 20 K)
<i>Flammability Range</i>	
<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 mempunyai lambang O dan nomor atom 8 pada tabel periodik. Oksigen sangat mudah bereaksi dengan unsur lain menjadi oksida. Oksigen memiliki sifat fisik berat atom dua dan berikatan menjadi gas oksigen dengan sifat tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau. Oksigen merupakan unsur melimpah di urutan ketiga (Emsley, 2001).



Gambar 2.3 Model atom oksigen
Sumber: Brady (1999)

2.3 *Brown's gas*

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

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

2.4 Metode Produksi Hidrogen

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

1. *Steam reforming*

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

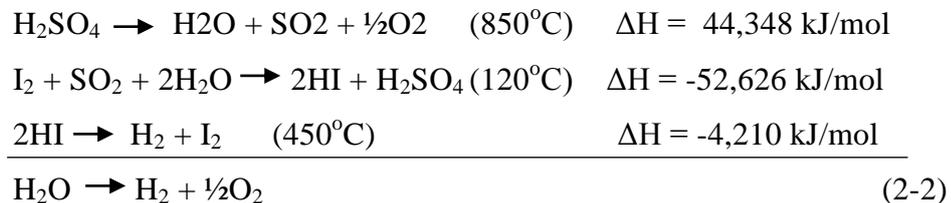
dilakukan dengan mereaksikan gas alam (metana, propana atau etana) dan direaksikan dengan steam pada suhu tinggi dengan bantuan katalis untuk menghasilkan hidrogen, karbon dioksida (CO₂) dan karbon monoksida (CO). Gas alam adalah bahan bakar fosil berbentuk gas yang terutama terdiri dari metana (CH₄)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

Persamaan reaksi yang terjadi di proses ini adalah :



2. Thermochemical (Siklus sulfur - iodine)

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



3. Gasifikasi Biomassa

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

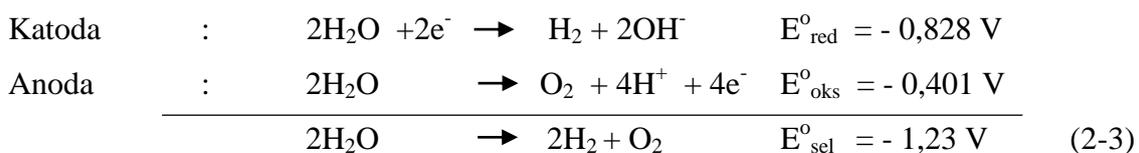
4. Elektrolisis Air

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

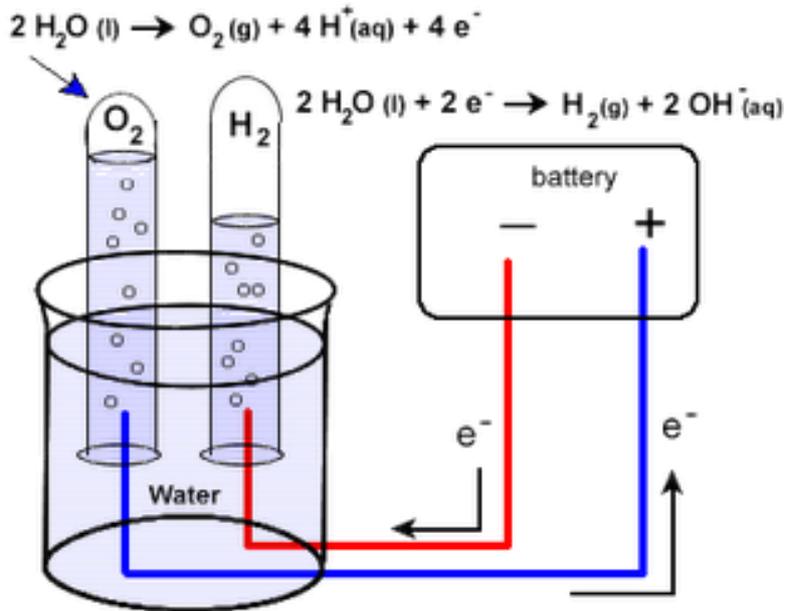
2.5 Elektrolisis Air

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

Persamaan reaksi elektrolisis dapat dilihat dibawah ini:



Reaksi elektrolisis adalah reaksi redoks tidak spontan, reaksi itu dapat berlangsung karena pengaruh dari energi listrik. Reaksi elektrolisis tidak dapat berlangsung jika tidak diberikan sumber energi dapat berupa energi listrik yang mengalir dari luar dengan E°_{sel} bernilai negatif. Dalam sel volta/galvani, reaksi redoks berlangsung secara spontan, dan energi kimia pada saat reaksi kimia diubah menjadi energi listrik. Sedangkan elektrolisis adalah reaksi kebalikan dari sel volta/galvani yang potensial selnya negatif atau dengan kata lain, dalam keadaan normal tidak akan terjadi reaksi dan reaksi dapat terjadi bila diinduksi dengan energi listrik. Pada proses elektrolisis berlangsung energi listrik yang diberikan akan dikonversi menjadi energi kimia. Proses ini ditemukan oleh Faraday pada tahun 1820. Pada gambar 2.4 digambarkan reaksi pemecahan H_2O menjadi 2 molekul hidrogen dan 1 molekul oksigen yang sering disebut HHO/*Oxyhidrogen*, sehingga pada gambar terlihat perbedaan ketinggian karena reaksi yang terjadi. Pergerakan elektron pada proses elektrolisis dapat dilihat pada gambar ini:



Gambar 2.4 Elektrolisis air
Sumber : Takeuchi (2011)

2.6 Larutan Elektrolit

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

2.6.1 Katalisator

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

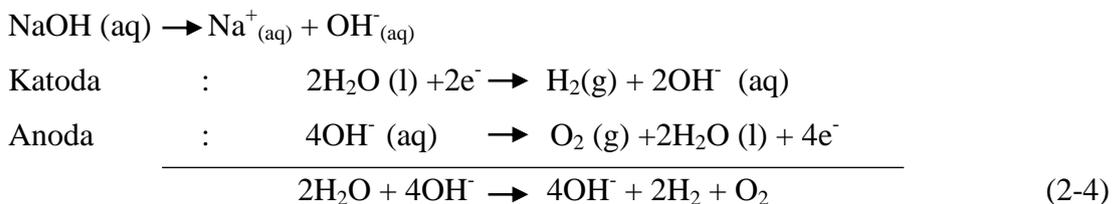
Ada 2 jenis katalis, yakni katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis homogen adalah katalis yang berada satu fase dengan reaktannya. Sedangkan katalis heterogen adalah katalis yang berbeda fase dengan reaktannya (biasanya berupa zat padat). Pada penelitian ini menggunakan katalis homogen yakni NaOH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

2.6.2 NaOH (Natrium Hidroksida)

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

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

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



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

2.6.3 Fraksi Massa Katalis

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

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

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

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

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

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

2.7 Generator HHO

Generator HHO atau *electrolyzer* adalah tempat berlangsungnya proses elektrolisis air yang terdapat elektroda (katode dan anode) sebagai tempat reaksi dan larutan elektrolit sebagai perantara dan sumber reaksi. Pada generator terjadi reaksi pemisahan *hydrogen* dan *oxygen* dari senyawa air (H₂O), proses yang terjadi pada katode adalah dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron yang mengalir masuk ke dalam katoda lalu tereduksi menjadi gas H₂ serta ion hidroksida (OH⁻). Ion OH⁻ hasil reaksi air pada katoda bergerak menuju anoda. Di anoda tersebut elektron terlepas menuju permukaan anoda dan bergerak kembali menuju sumber listrik akibat terlepasnya elektron tersebut. Dua buah ion OH⁻ terurai membentuk air dan terbentuk gelembung oksigen. Gelembung-gelembung yang muncul dari elektroda merupakan gas H₂ yang timbul dalam katoda dan gas O₂ yang timbul pada anoda hasil dari proses elektrolisis. (Syarifuddin, 2017)

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

2.7.1 Tipe Generator HHO

2.7.1.1 Dry Cell (Tipe Kering)

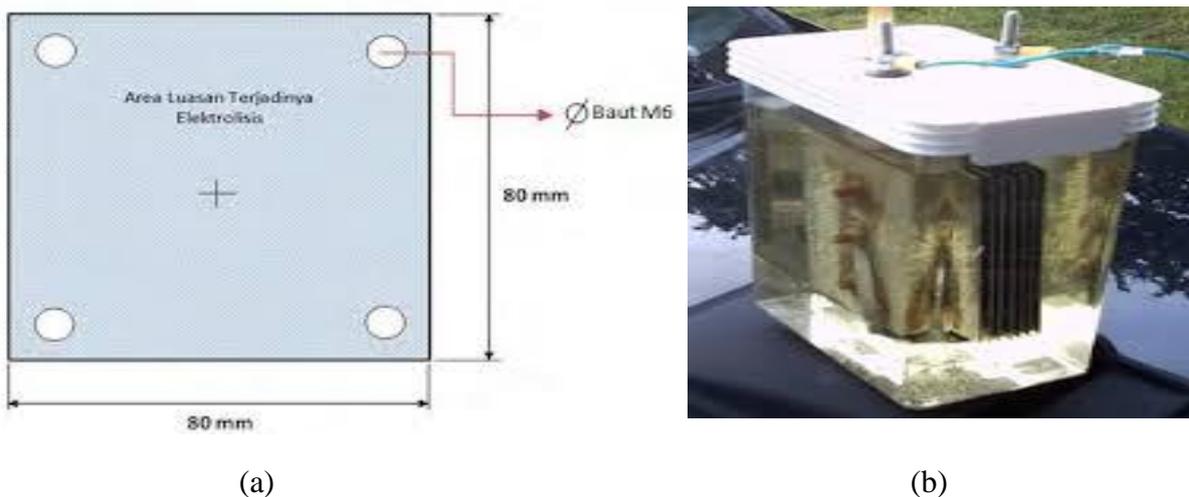
Generator HHO tipe kering (*Dry Cell*) adalah generator HHO yang elektrodanya tidak terendam penuh dalam larutan elektrolit hanya mengisi celah-celah antara elektroda itu sendiri. Keuntungan Generator HHO tipe *dry cell* adalah :

1. Elektrolit yang tereaksi hanya elektrolit yang terjebak diantara pelat elektroda, lebih hemat daya.
2. Arus listrik yang digunakan relatif lebih hemat, karena air yang di elektrolisa hanya seperlunya dan daya yang terkonversi menjadi panas semakin sedikit.
3. Panas dari hasil reaksi cenderung kecil, dikarenakan air tersirkulasi terus-menerus antara air panas dan dingin. (Syarifuddin, 2017)

2.7.1.2 Wet Cell (Tipe Basah)

Tipe basah adalah generator HHO dimana semua elektrodanya terendam cairan elektrolit di dalam sebuah bejana air. Keuntungan generator gas HHO tipe wet cell adalah :

1. Perawatan generator lebih mudah.
2. Rancang bangun pembuatan generator HHO lebih mudah.
3. Gas yang dihasilkan lebih stabil dan banyak.



Gambar 2.5 (a) Elektroda generator HHO tipe *wet cell*; (b) Konstruksi generator HHO tipe *wet cell*

Sumber: Ghiffari (2013)

Pada tipe wet cell atau tipe basah, semua area luasan elektroda pelatnya terendam air untuk proses elektrolisis menghasilkan gas HHO. Luasan elektrolisis tersebut sama dengan luasan setiap setiap plat yang digunakan sehingga daya listrik yang dibutuhkan juga lebih banyak dari tipe kering.

2.7.2 Komponen Penyusun Generator HHO

2.7.2.1 Elektroda

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

Salah satu material untuk elektroda yang masuk rekomendasi adalah *Stainless Steel* (baja anti karat). *Stainless Steel* (SS) adalah logam paduan iron (besi) yang memiliki minimal 12 % kromium (Cr). Unsur ini membentuk bagian lapisan *protective layer* (lapisan pelindung anti korosi) yang menghalangi proses oksidasi besi (Fe). Oksidasi oksigen pada kromium akan membentuk lapisan *protective layer* secara spontan. (Purwanti dan Ferihan, 2013). Dengan pelapisan krom pada besi sehingga membentuk logam *stainless steel* akan mendapatkan banyak keuntungan antara lain sangat tahan terhadap korosi, kuat dan tidak mudah tergores dan permukaan mengkilat dan halus. Pelat *stainless steel* juga memiliki harga murah dan sangat mudah didapatkan dipasaran. Pada penelitian ini menggunakan *stainless steel* 304L dikarenakan hal tersebut.

Chemical Composition of Austenitic Stainless Steels						
AISI type	Nominal composition (%)					
	C max.	Mn max.	Si max.	Cr	Ni	Others*
201	0.15	7.5*	1.00	16.00–18.00	3.50–5.50	0.25 max. N
202	0.15	10.00*	1.00	17.00–19.00	4.00–6.00	0.25 max. N
205	0.25	15.50*	0.50	16.50–18.00	1.00–1.75	0.32/0.4 max. N
301	0.15	2.00	1.00	16.00–18.00	6.00–8.00	
302	0.15	2.00	1.00	17.00–19.00	8.00–10.00	
302B	0.15	2.00	3.00*	17.00–19.00	8.00–10.00	
303	0.15	2.00	1.00	17.00–19.00	8.00–10.00	0.15 min. S
303(Se)	0.15	2.00	1.00	17.00–19.00	8.00–10.00	0.15 min. Se
304	0.08	2.00	1.00	18.00–20.00	8.00–12.00	
304L	0.03	2.00	1.00	18.00–20.00	8.00–12.00	
304N	0.08	2.00	1.00	18.00–20.00	8.00–10.50	0.1/0.16 N
305	0.12	2.00	1.00	17.00–19.00	10.00–13.00	
308	0.08	2.00	1.00	19.00–21.00	10.00–12.00	
309	0.20	2.00	1.00	22.00–24.00	12.00–15.00	
309S	0.08	2.00	1.00	22.00–24.00	12.00–15.00	
310	0.25	2.00	1.50	24.00–26.00	19.00–22.00	
316	0.08	2.00	1.50	16.00–18.00	10.00–13.00	

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

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

1. Keadaan pereaksi dan luas permukaan

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

2. Konsentrasi

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

3. Suhu

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

4. Cahaya

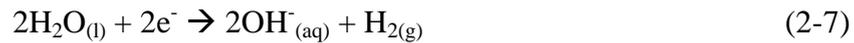
Sebagai contoh adalah pada proses fotosintesis pada tumbuhan berklorofil.

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

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

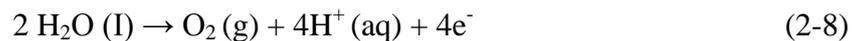
1. Reaksi Pada Katoda

Reaksi yang terjadi di katoda adalah reduksi. Reaksi pada katoda berpengaruh dari jenis kation yang ada pada larutan. Apabila kationnya berasal dari logam – logam aktif (golongan IA, IIA, Al atau Mn) dimana potensial elektrodanya lebih kecil daripada air, maka yang tereduksi adalah air. Ion-ion bermuatan positif atau kation bergerak dari anoda menuju katoda untuk reduksi. Pada elektrolisis air (H_2O), pada katoda dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron, tereduksi menjadi gas H_2 dan Hidroksida dan OH^- . Reaksi pada katoda :



2. Reaksi Pada Anoda

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



2.7.2.2 Pelat Netral

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

2.7.2.3 Celah Elektroda (Karet O-ring)

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

2.7.2.4 Casing

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

2.7.3 Parameter Kerja Generator HHO

1. Daya Generator HHO

Elektrolisis air adalah proses kimia yang mengubah energi listrik menjadi energi kimia. Proses elektrolisis air memerlukan sumber energi listrik searah (DC) yang bersumber dari listrik PLN (dengan dirubah dari arus bolak balik menjadi searah dengan inventer), Energi Surya (*Solarcell*) atau baterai (*accumulator*) untuk dialirkan ke pelat elektroda pada generator HHO. Pada penelitian ini digunakan energi listrik dari PLN dengan dirubah dari arus bolak balik menjadi searah dengan memakai inventer.

Untuk mendapatkan nilai efisiensi yang tinggi penggunaan daya listrik haruslah seminimal mungkin dengan laju produksi *Brown's gas* yang tinggi. Daya listrik yang digunakan selama proses elektrolisis berlangsung dapat ditunjukkan pada persamaan (2-14) berikut (Bueche, 1985).

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

Ket :

P = Daya yang dibutuhkan generator HHO (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Kuat arus listrik (Ampere)

Pada persamaan (2-14) dapat disimpulkan bahwa semakin besar tegangan atau semakin besar kuat arus listrik yang dipakai pada proses elektrolisis air maka akan memperbesar daya yang dibutuhkan generator HHO dikarenakan tegangan atau kuat arus berbanding lurus dengan daya yang dibutuhkan.

2. Laju produksi *Brown's gas*

Proses elektrolisis air menggunakan generator HHO tipe *dry cell* akan menghasilkan *Brown's gas* atau gas HHO. Sehingga diperlukan untuk mengetahui laju produksi *Brown's gas* yang dihasilkan, untuk mengetahui seberapa bagus kinerja dari generator tersebut. Semakin tinggi laju produksi gas yang dihasilkan maka kita dapat mengetahui kerja terbaik dari Generator HHO yang digunakan. Laju produksi Gas HHO tergantung pada volume (l) yang dihasilkan oleh Generator HHO setiap detik. Untuk mengetahui laju produksi *Brown's gas* dapat ditunjukkan pada Persamaan (2-15) berikut (Sopandi, 2015).

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

Ket :

Q = Produktivitas Gas HHO (l/s)

v = Volume Gas HHO (l)

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

3. Efisiensi Generator HHO

Efisiensi adalah perbandingan antara energi yang dihasilkan (output) dengan jumlah energi yang digunakan (input) untuk melakukan proses tersebut. Untuk dapat menghitung efisiensi pada suatu sistem dapat dituliskan pada seperti persamaan (2-16) berikut (Williams, 2002).

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

Pada proses elektrolisis air efisiensi didefinisikan sebagai jumlah energi yang dihasilkan (gas HHO) pada proses elektrolisis air (output) dibandingkan dengan jumlah energi yang dibutuhkan pada proses elektrolisis air (input) pada Generator HHO harus mengetahui terlebih dahulu jumlah energi yang digunakan (input) yang digunakan untuk proses elektrolisis air. Untuk mengetahui energi yang digunakan untuk elektrolisis air dapat ditentukan oleh kuat arus, tegangan, dan nilai hambatan yang digunakan selama proses elektrolisis air. Untuk mengetahui hubungan kuat arus, tegangan dan nilai hambatan dalam proses elektrolisis air dapat dilihat pada persamaan (2-12) berikut ini (Bueche, 195).

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

Ket :

V= Beda Potensial Tegangan (Volt)

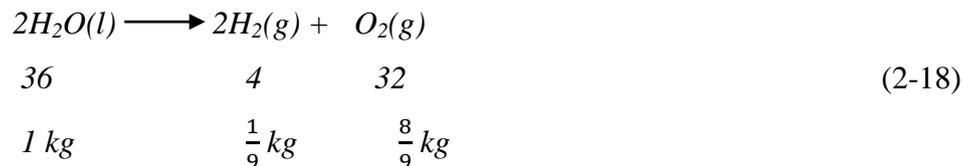
I = Kuat Arus Listrik (Ampere)

R = Hambatan (Ohm)

Energi berguna yang terkandung dalam bahan bakar merupakan hasil kali dari volume, massa jenis bahan bakar dan *Lower Heating Value* (LHV) bahan bakar. Oleh karena itu sebelumnya kita harus mengetahui masing masing nilai tersebut untuk mengetahui berapa jumlah energi yang terkandung pada gas HHO. Nilai- nilai yang perlu diketahui yaitu diantaranya massa jenis gas HHO dan nilai LHV untuk gas HHO.

- Menentukan massa jenis *Brown's gas*

Pada proses elektrolisis air terjadi proses pemisahan air menjadi hidrogen dan oksigen, jika massa air (H₂O) yang dielektrolisis sebesar 1 kg maka dapat disimpulkan hasil produk *Brown's gas* juga terdiri dari massa total hidrogen (H₂) dan Oksigen (O₂) juga sebanyak 1 kg juga. Menurut tabel periodik unsur bahwa nilai Mr H₂O = 18, Mr H₂ = 2, Mr O₂ = 32 maka didapat :



Dari persamaan reaksi di atas dapat di ketahui massa jenis *Brown's gas*. Jika pada kondisi STP (*standard temperature pressure*) massa jenis hidrogen (H₂) ρ_{H2} = 0,08235 gr/l dan oksigen (O₂) ρ_{O2} = 1,3088 gr/l (*Cole Parmer Instrument, 2005*), maka massa jenis *Brown's gas* (ρ_{HHO}) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2-19) berikut ini.

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

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

Untuk gas hidrogen (H₂) sendiri memiliki nilai kalor sebesar 119,93 kJ/gram (*Wardana, 2008:83*). Untuk mengetahui nilai kalor dari *Brown's gas* terlebih dahulu harus mengetahui perbandingan massa antara gas hidrogen (H₂) yang terdapat dalam *Brown's gas*. Jika massa H₂ dalam *Brown's gas* adalah sebesar 1/9, maka nilai LHV (*Lower Heating Value*) *Brown's gas* merupakan 1/9 kali dari nilai LHV (*Lower Heating Value*) gas H₂, yaitu = 1/9 x 119,93 kJ/gr = 13,25 kJ/gr atau 13250 J/gr.

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

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

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

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

Ket :

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

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

ρ_{HHO} = massa jenis gas HHO (gr/l)

P = Daya yang digunakan (Watt)

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

2.8 Hipotesa

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

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