

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya mengenai penggunaan elektrolisis air untuk menghasilkan gas H_2 dan O_2 (*Brown's Gas*) telah banyak dilakukan. Yang menjadi dasar dalam penelitian ini yaitu penelitian yang dilakukan oleh Yull Brown (1974), dalam penelitiannya, Yull Brown melakukan elektrolisa air murni sehingga menghasilkan gas HHO yang dinamainya *Brown's Gas* dan dipatenkan olehnya.

Diana dan Wahyono (2009) melakukan penelitian tentang pemanfaatan air dan $NaHCO_3$ dengan metode elektrolisis untuk efisiensi bahan bakar dan peningkatan gas buang kendaraan bermotor. Dari penelitian tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa $NaHCO_3$ dapat digunakan sebagai katalis yang baik untuk proses elektrolisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *hidrogen electrolyzer* dengan kombinasi bentuk elektroda plat dan volume elektrolit 270 ml mampu menurunkan konsumsi bahan bakar sebesar 19.2%.

Penelitian yang dilakukan oleh Marlina (2012) , dengan memfariasikan 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 jenis elektroda 316L. Dari hasil penelitiannya tersebut didapat bahwa Jumlah energi yang digunakan untuk proses elektrolisis dan laju produksi HHO akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya prosentase $NaHCO_3$ dengan titik puncak pada prosentase katalis 12,5%. Didapat juga bahwa dengan prosentase $NaHCO_3$ 10% didapatkan efisiensi tertinggi sebesar 18,954%.

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.

Penelitian yang dilakukan oleh Wiryawan(2013) menggunakan elektrolisis sel basah. Dengan memvariasikan fraksi massa katalis sebesar 0.99%, 1.15%, 1.31%, 1.48%, 1.64%, AMDK, aquades. Dan variasi arus 2,4,6,8 A. Hasilnya didapatkan

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 yang dilakukan oleh Dragica (2003) dengan judul *Hydrogen generation from water electrolysis—possibilities of energy saving* yang juga menggunakan elektrolisis sel basah. Dari hasil penelitiannya tersebut didapat bahwa dengan ,menggunakan tambahan katalis KOH 30% dapat menurunkan daya hingga 10%.

Sedangkan untuk kali ini akan dilakukan penelitian mengenai produktivitas *brown's gas* dengan menggunakan inputan energi dari *photovoltaic* dengan memvariasikan tegangan yang masuk secara *direct* dan *indirect*.

2.2 Matahari

Matahari adalah salah satu benda langit berupa gumpalan gas yang sangat panas dengan diameter 1.39×10^9 m dan berjarak rata-rata dengan bumi sekitar 1.5×10^{11} m. Temperatur permukaan matahari sebesar 5777 K, sedangkan temperatur bagian inti matahari mencapai 8×10^6 sampai 40×10^6 K dan densitasnya 100 kali lebih besar dari air. Matahari memancarkan energi berupa gelombang elektromagnetik yaitu cahaya dan panas yang dihasilkan oleh reaksi fusi yang terjadi di inti matahari. Reaksi fusi terjadi akibat gaya gravitasi matahari yang begitu besar di dalam inti sehingga mampu membuat 2 atom hidrogen berfusi menjadi 1 atom helium dan melepaskan energi yang begitu besar. (Duffie & Beckman, 1991:3)

Radiasi cahaya matahari adalah energi berbentuk gelombang elektromagnetik yang kasat mata dengan panjang gelombang (λ) sekitar 0.2-4.0 μm . Pada bidang fisika, cahaya adalah radiasi elektromagnetik, baik dengan panjang gelombang kasat mata maupun yang tidak. Cahaya adalah paket partikel yang disebut *photon* yang mengandung energi. Radiasi cahaya matahari yang sampai ke bumi merupakan sumber energi bagi kehidupan di bumi.

Akibat dari kondisi atmosfer bumi, cahaya matahari yang sampai ke bumi terbagi menjadi radiasi langsung dan radiasi baur. Radiasi langsung (*beam radiation*) merupakan cahaya yang diterima langsung dari matahari tanpa tersebar oleh atmosfer. Sedangkan radiasi baur (*diffuse radiation*) adalah radiasi cahaya matahari yang arah

datangnya telah tersebar oleh atmosfer. Dan gabungan dari radiasi langsung dan radiasi baur disebut *total radiation* (Duffie & Beckman, 1991:10).

2.2.1 Sifat-sifat Cahaya

Karena cahaya merupakan sebuah gelombang, maka cahaya mempunyai sifat-sifat sebuah gelombang sebagai berikut:

1. Memiliki arah rambat yang tegak lurus arah getar (transversal).
2. Memiliki energi dalam bentuk *photon*.
3. Dipancarkan dalam bentuk energi.
4. Dapat mengalami pemantulan, pembiasan, interferensi, difraksi dan polarisasi.

Dalam penelitian ini memanfaatkan sifat cahaya matahari yaitu sebagai *photon* yang mengandung energi. Energi cahaya matahari tergantung pada panjang gelombang cahaya itu sendiri dan dapat dirumuskan dengan persamaan 2-1.

$$E_{\lambda} = \frac{hc}{\lambda} \quad (\text{Luque \& Hegedus, 2003:61}) \quad (2-1)$$

Keterangan :

- E = Energi radiasi cahaya matahari [J]
h = Konstanta *Plank* [$6,626068 \times 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ kg/s}$]
c = Kecepatan cahaya [m/s]
 λ = Panjang gelombang [m]

2.3 Photovoltaic

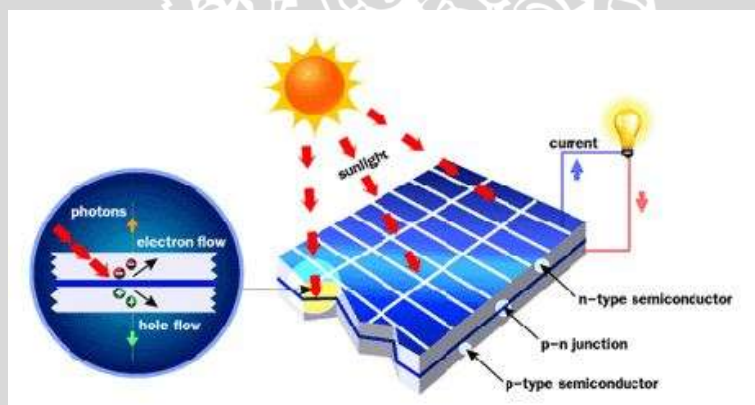
Photovoltaic adalah sebuah alat semikonduktor yang terdiri dari sebuah dioda P-N, di mana saat sel ini terkena cahaya matahari (*photon*) mampu menciptakan energi listrik. Pengubahan ini disebut efek *photovoltaic*. Bidang riset yang berhubungan dengan *photovoltaic* dikenal sebagai *photovoltaics*.

Energi cahaya matahari yang dapat dikonversikan menjadi energi listrik oleh *photovoltaic* harus mampu meloncatkan elektron bebas melewati *band gap* pada struktur atom *photovoltaic*. *Band gap* merupakan jarak antara dioda tipe P dan tipe N.

Proses pengubahan atau konversi cahaya matahari menjadi listrik ini dimungkinkan karena bahan material yang menyusun sel surya berupa semikonduktor. Semikonduktor

jenis n merupakan semikonduktor yang memiliki kelebihan elektron, sehingga kelebihan muatan negatif, (n = negatif). Sedangkan semikonduktor jenis p memiliki kelebihan hole, sehingga disebut dengan p (p = positif) karena kelebihan muatan positif.

Dua jenis semikonduktor n dan p ini jika disatukan akan membentuk sambungan p - n atau dioda p - n (istilah lain menyebutnya dengan sambungan metalurgi / *metallurgical junction*). Proses pengubahan cahaya matahari menjadi listrik dimungkinkan ketika semikonduktor tipe- p dan tipe- n terkontak, maka kelebihan elektron akan bergerak dari semikonduktor tipe- n ke tipe- p sehingga membentuk kutub positif pada semikonduktor tipe- n , dan sebaliknya kutub negatif pada semikonduktor tipe- p . Akibat dari aliran elektron dan hole ini maka terbentuk medan listrik yang mana ketika cahaya matahari mengenai susunan p - n junction ini maka akan mendorong elektron bergerak dari semikonduktor menuju kontak negatif, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai listrik, dan sebaliknya hole bergerak menuju kontak positif menunggu elektron datang, seperti diilustrasikan pada gambar dibawah.



Gambar 2.1 Ilustrasi cara kerja sel surya dengan prinsip p - n junction
Sumber : Anonymous_a (2013)

Kelebihan *Photovoltaic* dibandingkan dengan mesin konversi energi lainnya, diantaranya yaitu :

- Sumber energinya sangat luas dan tidak terbatas
- Tidak menghasilkan emisi dan radiasi yang berbahaya (tidak ikut menyumbang pengaruh pada pemanasan global)
- Biaya operasi yang murah
- Tidak membutuhkan sistem mekanik yang rumit
- Tidak berbahaya dan tahan lama

Sekarang telah banyak jenis *photovoltaic* yang beredar. Tipe arus dan penjelasan mengenai *photovoltaic* yang sedang diteliti dan dikembangkan, diantaranya sebagai berikut.

➤ *Monocrystalline silicon cells*

Photovoltaic ini tiap *cell*-nya terbuat dari *monocrystalline silicon*. Atom-atom penyusun *cell* tersusun teratur dan terjaga kemurniannya. Efisiensinya cukup tinggi sekitar 15% namun proses manufakturnya rumit dan membutuhkan biaya tinggi dibanding teknologi lain.

➤ *Multicrystalline silicon cells*

Multicrystalline cells terbuat dari *monocrystallin silicon* yang tersusun secara acak.. *Multicrystalline silicon cells* lebih murah dibanding dengan *monocrystallin* karena proses manufakturnya yang mudah. Meskipun begitu efisiensinya lebih rendah sekitar 12%. *Multicrystallin silicon cells* merupakan tipe *photovoltaic* yang akan digunakan dalam penelitian ini.

➤ *Amorphous silicon*

Pada umumnya yang membedakan *amorphous silicon* dengan tipe sebelumnya adalah pada struktur cristalnya, *amorphous silicon cells* terbentuk dari lapisan homogen yang tipis. *Amorphous silicon* dapat di tempatkan pada jangkauan yang luas pada modul karena strukturnya rigid namun fleksibel. Efisiensinya dari *cell* ini sekitar 6%.

➤ *Thermophotovoltaic*

Photovoltaic jenis ini memanfaatkan radiasi inframerah dan juga radiasi panas. *Thermophotovoltaic* (TPV) yang lengkap terdiri dari bahan bakar, tempat pembakaran, radiator, sebuah mekanisme penangkap panjang gelombang *photon*, *PV cell*, dan sistem pengatur panas. Peralatan TPV mengkonversikan radiasi menggunakan cara yang sama dengan *photovoltaic* lain. Perbedaannya ada pada temperatur radiator dan geometri dari sistem. Pada sistem *photovoltaic* secara umum memanfaatkan radiasi matahari pada temperatur 6000K dengan jarak 15×10^6 km. Pada TPV radiasi diterima pada jarak yang dekat hanya beberapa centimeter dengan temperatur yang lebih rendah 1300-1800 K. Meskipun begitu energi yang diterima oleh *non-concentrator photovoltaic* hanya sekitar 0.1 W/m^2 sedangkan TPV bisa mencapai 5-30 W/m^2 tergantung temperatur pembakaran bahan bakar (Kalogirou, 2009: 486).

Tiap tipe *photovoltaic* mempunyai efisiensi yang berbeda-beda yang dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari yang sampai pada permukaan *photovoltaic* dan juga

jenis *photovoltaic* itu sendiri. Efisiensi *photovoltaic* dapat dicari dengan persamaan 2-2 seperti berikut.

$$\eta_{\max} = \frac{P_{\max}}{P_{in}} = \frac{I_{\max} V_{\max}}{AG_t} \quad (\text{Kalogirou, 2009: 480}) \quad (2-2)$$

Keterangan:

$\eta_{\max}$ = Efisiensi maksimum *photovoltaic*

$P_{\max}$ = Daya listrik maksimum *photovoltaic* [Watt]

P_{in} = Daya radiasi matahari [Watt]

$I_{\max}$ = Arus listrik maksimum *photovoltaic* [Ampere]

$V_{\max}$ = Tegangan listrik maksimum *photovoltaic* [Volt]

A = Luas bidang *photovoltaic* [m²]

G_t = Radiasi matahari yang tersedia [W/m²]

2.3.1 Solar Charge Controller

Dalam pemasangan panel surya dibutuhkan suatu alat tambahan untuk mengatur keluaran dari panel surya seperti *Solar Charge Controller*. *Solar Charge Controller* adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban.

Solar charge controller mengatur *overcharging* (kelebihan pengisian - karena baterai sudah 'penuh') dan kelebihan voltase dari panel surya / *solar cell*. Kelebihan voltase dan pengisian akan mengurangi umur baterai.



Gambar 2.2 Solar charge controller
Sumber: Anonymous_b (2013)

Beberapa fungsi detail dari *solar charge controller* adalah sebagai berikut:

- Mengatur arus untuk pengisian ke baterai, menghindari overcharging, dan overvoltage.
- Mengatur arus yang dibebaskan dari baterai agar baterai tidak '*full discharge*', dan *overloading*.
- Monitoring temperatur baterai

Seperti yang telah disebutkan di atas *solar charge controller* yang baik biasanya mempunyai kemampuan mendeteksi kapasitas baterai. Bila baterai sudah penuh terisi maka secara otomatis pengisian arus dari panel surya berhenti. Cara deteksi adalah melalui monitor level tegangan batere. *Solar charge controller* akan mengisi baterai sampai level tegangan tertentu, kemudian apabila level tegangan drop, maka baterai akan diisi kembali.

Solar Charge Controller biasanya terdiri dari : 1 input (2 terminal) yang terhubung dengan output panel surya, 1 output (2 terminal) yang terhubung dengan baterai / aki dan 1 output (2 terminal) yang terhubung dengan beban (load). Arus listrik DC yang berasal dari baterai tidak mungkin masuk ke panel sel surya karena biasanya ada '*diode protection*' yang hanya melewatkan arus listrik DC dari panel surya ke baterai.

2.3.2 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 (Bird, 2010:11).

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 2-3 (Bird, 2010:11).

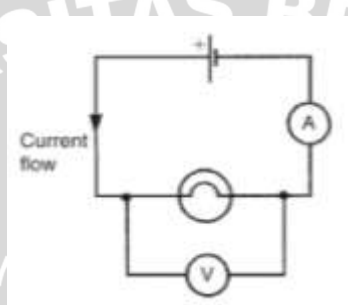
$$I = \frac{Q}{t} \quad (\text{Bird, 2010:8}) \quad (2-3)$$

Keterangan :

I = Arus listrik [A]

Q = Banyaknya muatan listrik [C]

t = Waktu [s]



Gambar 2.3 Arah aliran arus pada rangkaian listrik DC
Sumber: Bird (2010:12)

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 *voltase* (Bird, 2010:11).

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

- Arus Searah (DC)

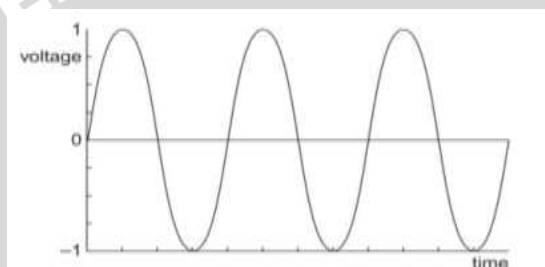
Arus searah (DC) adalah arus listrik yang nilai polaritas tegangannya bernilai tetap terhadap waktu. Aliran arus satu arah dihasilkan oleh sumber tegangan arus searah (DC) yang tidak mengubah polaritas tegangan keluarannya seperti yang terlihat pada gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4 Sifat tegangan DC
Sumber: Bishop (2011:21)

- Arus Bolak-balik (AC)

Pada arus AC nilai dari polaritas tegangan berubah-ubah sepanjang waktu membentuk gelombang sinusoida seperti pada gambar 2.5. Arus listrik AC sering digunakan untuk aplikasi rumah tangga karena kemudahan pendistribusiannya.



Gambar 2.5 Sifat tegangan AC
Sumber: Bishop (2011:21)

Pada sumber arus yang menghasilkan arus DC dan ingin digunakan di peralatan rumah tangga, maka arus di DC tersebut harus dihubungkan terlebih dahulu ke inverter. Inverter merupakan alat elektronik yang mengubah arus DC menjadi arus AC. Pada penelitian ini, *photovoltaic* 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.

- 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 2-4.

$$V = I.R \quad (\text{bird, 2010:13}) \quad (2-4)$$

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 2-5.

$$P = V.I \quad (\text{Bird, 2010:15}) \quad (2-5)$$

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 rumus berikut:

$$P = V.I = \{I.R\}.I = I^2.R \quad (\text{Bird, 2010:15}) \quad (2-6)$$

Keterangan:

P = Daya listrik [Watt]

I = Arus listrik [A]

V = Tegangan listrik [V]

R = Resistensi [Ω]

2.4 Elektrolisis

Elektrolisis terjadi ketika aliran arus listrik melalui senyawa ionik dan senyawa tersebut mengalami reaksi kimia. Alat yang digunakan pada proses elektrolisis terdiri atas sel elektrolisis yang berisi elektrolit (larutan atau leburan). Pada elektrolisis biasa kita selalu menggunakan elektroda yang sama dimasukkan dalam larutan yang bersangkutan.

Elektrolisis merupakan proses kimia yang mengubah energi listrik menjadi energi kimia. Reaksi elektrolisis tergolong reaksi redoks tidak spontan, reaksi itu dapat berlangsung karena pengaruh energi listrik. Proses ini ditemukan oleh Faraday tahun 1820.

2.4.1 Elektrolisis Air

Molekul air dipecah menjadi unsur-unsur asalnya (gas Hidrogen dan Oksigen) dengan mengalirnya arus listrik, Proses ini disebut elektrolisis air. Pada elektrolisa air ternyata timbulnya kedua gas H_2 dan O_2 baru mulai setelah E lebih besar dari 1,7 Volt. (Achmad,1992).

Dalam proses elektrolisis air terdapat komponen - komponen yang menunjang proses untuk menghasilkan gas HHO (*Brown's Gas*) seperti tabung elektroliser, elektroda (katoda dan anoda), dan larutan elektrolit.

1. Tabung elektroda

Tabung elektroda merupakan tempat penampung larutan elektrolit sekaligus tempat berlangsungnya proses elektrolisis untuk menghasilkan *Brown's Gas*. Di dalam tabung ini terdapat elektroda yang akan diberi arus listrik DC (*Direct Curent*). Tabung elektroliser biasanya terbuat dari bahan kaca, plastic, akrilik, dan lain sebagainya yang dapat menahan panas dari proses elektrolisis.

2. Elektroda

Gas HHO (*Brown's Gas*) yang dihasilkan dalam proses elektrolisis terjadi akibat adanya arus listrik yang melewati elektroda dan akan menguraikan unsur – unsur air. Elektroda terdiri dari dua kutub, yaitu katoda sebagai kutub negatif (-) dan anoda sebagai kutub positif (+) yang dimasukkan kedalam larutan elektrolit. Jika elektroda tersebut diberi aliran listrik DC akan muncul gelembung-gelembung kecil (HHO). Biasanya elektroda yang di pakai adalah platina atau stainless steel yang tahan terhadap karat.

3. Elektolit

Elektrolit adalah suatu larutan yang digunakan untuk menghasilkan gas HHO pada proses elektrolisis. Elektrolit terdiri dari air murni atau air destilasi dan katalisator. Banyak sekali macam katalisator yang digunakan dalam proses elektrolisis air. Salah satu katalis yang dapat digunakan untuk proses elektrolisis adalah Natrium Bikarbonat ($NaHCO_3$) atau lebih dikenal dengan nama soda kue. Senyawa ini termasuk kelompok garam dan telah digunakan sejak lama. Natrium bikarbonat larut dalam air dan bersifat alkaloid (basa). Natrium Bikarbonat ($NaHCO_3$) diproduksi sebanyak 100.000 ton/tahun

(Holleman, 2001). Senyawa ini diproduksi secara komersial dari soda abu (diperoleh melalui penambangan bijih trona, yang dilarutkan dalam air lalu direaksikan dengan karbon dioksida. Lalu NaHCO_3 mengendap sesuai persamaan berikut



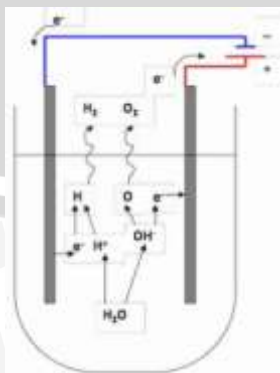
NaHCO_3 (natrium bikarbonat) termasuk kelompok garam yang terbentuk dari asam kuat dan basa kuat dan mempunyai sifat larutan yang netral. Larutan NaHCO_3 (natrium bikarbonat) berasal dari basa kuat NaOH terionisasi sempurna membentuk kation dan anion Na^+ dan OH^- . Dan asamnya berasal dari asam kuat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

2.4.2 Reaksi elektrolisis

Pada katoda, dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron, tereduksi menjadi gas H_2 dan ion hidroksida (OH^-). Sementara itu pada anoda, dua molekul air lain terurai menjadi gas oksigen (O_2), melepaskan 4 ion H^+ serta mengalirkan elektron ke katoda. Ion H^+ dan OH^- mengalami netralisasi sehingga terbentuk kembali beberapa molekul air. Reaksi keseluruhan yang setara dari elektrolisis air dapat dituliskan pada persamaan dibawah ini.



Gas hidrogen dan oksigen yang dihasilkan dari reaksi ini membentuk gelembung pada elektroda dan dapat dikumpulkan seperti yang terlihat pada gambar 2.6 berikut.



Gambar 2.6 Elektrolisa Air
Sumber : Anonymous_c (2013)

Penggunaan hukum Faraday sebagai dasar melakukan analisa. Hukum Faraday I sebagai berikut :

1. Hukum Faraday I

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

$$V \text{ (teoritis)} = \frac{(R.I.T.t)}{F.P.Z} \quad (\text{Michael, 1994}) \text{ (2-7)}$$

Dengan :

R = 8,314 Joule/mol Kelvin

I = kuat arus (A)

T = temperature (K)

t = waktu (detik)

F = konstanta faraday (96.485 C)

Z = number “excess” electron

2. Hukum II Faraday

Jumlah zat yang dihasilkan oleh arus yang sama di dalam beberapa sel yang berbeda berbanding lurus dengan berat ekuivalen zat-zat tertentu.

$$m_1 : m_2 = e_1 : e_2 \quad (\text{Michael, 1994}) \text{ (2-8)}$$

Keterangan:

m_1 = massa zat terendap 1

m_2 = massa zat terendap 2

e_1 = massa ekuivalen zat 1

e_2 = massa ekuivalen zat 2

Faktor- faktor yang mempengaruhi elektrolisis antara lain :

1. Penggunaan Katalisator
2. Penggunaan energi panas
3. Frekuensi resonansi
4. Tegangan dan arus elektrolisis
5. Luas permukaan tercelup

2.4.3 Volume alir HHO (*Brown's Gas*)

Untuk mengetahui seberapa besar volume *Brown's gas* yang di hasilkan pada proses elektrolisis dapat di gunakan berbagai macam alat ukur. Pada penelitian ini menggunakan bantuan gelas ukur yang pemasangannya sesuai dengan gambar (3.12) di balik dan di masukkan ke dalam wadah berisi air. *Brown's gas* yang berhasil di produksi di salurkan melalui selang ke gelas ukur tersebut, karena *Brown's gas* yang ters menerus bertambah maka akan mendorong air yang ada di dalam gelas ukur. Selisih volume air di dalam gelas ukur sebelum dan setelah proses ini yang merupakan volume *brown's gas* per lamanya waktu. Untuk menghitung volume alir dapat di gunakan persamaan:

$$Q = \frac{V \text{ (ml)}}{t \text{ (s)}} \quad (2-9)$$

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

2.4.4 Efisiensi Elektroliser

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

$$\eta = \frac{\text{energi berguna}}{\text{Energi digunakan}} \quad (\text{Williams 2002:69}) \quad (2-10)$$

Pada Elektrolisa air efisiensi di definisikan sebagai jumlah energi dari *Brown's gas* yang terkandung di dalamnya apabila di gunakan di dibandingkan dengan jumlah energi yang di gunakan untuk melakukan proses elektrolisis dalam hal ini adalah energi listrik. perhitungan efisiensi ini di gunkan untuk mengetahui seberapa efektif elektroliser yang di gunakan dapat bekerja.

Untuk mengetahui efisiensi pada elektroliser HHO ini sebelumnya kita harus mengetahui energi yang di gunakan dalam proses. Untuk menghitung energi yang di gunakan dalam proses elektrolisis dapat di gunkan persamaan (2-4) .

Sebagaimana di ketahui energi berguna yang terkandung dalam bahan bakar adalah hasil kali dari volume, massa jenis dan *Low Heating Value (LHV)* dari bahan bakar

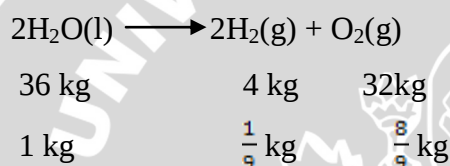
tersebut. Maka kita harus menghitung nilai masing-masing bagian tersebut untuk mengetahui energy yang terkandung dalam *Brown's gas*.

1. menghitung volume gas HHO (*Brown's Gas*).

Dalam konteks ini, volume *Brown's Gas* merupakan volume gas yang dihasilkan dalam satu satuan waktu yaitu detik. Sehingga untuk menghitungnya dapat menggunakan persamaan (2-10)

2. massa jenis gas HHO (*Brown's Gas*)

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

$\rho_{\text{H}_2} = 0,08235 \text{ gr/lit}$ dan O₂ sebesar $\rho_{\text{O}_2} = 1,3088 \text{ gr/lit}$ (*Cole Parmer Instrument, 2005*), maka ρ_{HHO} dapat dicari dengan persamaan berikut ini :

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

3. LHV gas HHO (*Brown's Gas*)

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.

massa H₂ dalam gas HHO sebesar 1/9, maka LHV (lower heating value) gas HHO adalah 1/9 kali LHV (lower heating value) 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 HHO flowmeter dalam satuan ml/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 generator HHO diturunkan dari persamaan berikut ini :

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\text{Energi yang dimiliki oleh HHO hasil elektrolisis}}{\text{Energi yang dibutuhkan untuk memproduksi gas HHO}} \times 100\% \\ &= \frac{M_{\text{HHO}} \times \text{LHV}_{\text{HHO}}}{\rho_{\text{HHO}}} \times 100\% \\ &= \frac{V_{\text{HHO}} \times \rho_{\text{HHO}} \times \text{LHV}_{\text{HHO}}}{\rho_{\text{HHO}}} \times 100\% \quad (\text{Marlina, 2013}) \quad (2-11) \end{aligned}$$

Dimana :

V_{HHO} = Volume gas HHO 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)

2.5 *Brown's Gas*

Brown's gas merupakan campuran di-atomic dan mono-atomic hidrogen dan oksigen. Diatomik hydrogen dan oksigen adalah bentuk umum hidrogen dan oksigen yang kebanyakan orang pikirkan ketika rumus kimianya adalah H₂ dan O₂. Sedangkan bentuk monoatomik dari hidrogen dan oksigen adalah ketika hanya dalam bentuk satu atom, tidak terikat dengan apa pun dan mereka tidak memiliki subskrip (H dan O). nama *brown's gas* diberikan dari nama professor Yule Brown yang merupakan salah seorang yang pertama yang mendiskripsikan sifat luar biasa dari HHO, yang diperoleh dari pemisahan air secara sederhana.

Hidrogen hasil proses elektrolisa tersebut dapat digunakan sebagai bahan bakar. Dari proses pembakaran hidrogen mampu menghasilkan energi panas yang cukup tinggi

yakni sekitar 696,87 KJ/kg. sehingga, sejak abad ke 19, hidrogen telah banyak digunakan untuk berbagai kebutuhan, baik untuk tujuan militer, industri, dan komersial lainnya. (Mazloomi, 2012)

2.5.1 Oksigen

Oksigen atau zat asam adalah unsur kimia dalam sistem tabel periodik yang mempunyai lambang O dan nomor atom 8. Oksigen merupakan unsur golongan kalkogen dan dapat dengan mudah bereaksi dengan hampir semua unsur lainnya (utamanya menjadi oksida). Oksigen memiliki sifat fisik yaitu dua atom. Unsur ini berikatan menjadi ikatan dioksigen, yaitu senyawa gas diatomik dengan rumus O_2 yang tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau. Oksigen merupakan unsur paling melimpah ketiga di alam semesta berdasarkan massa dan unsur paling melimpah di kerak Bumi. (Emsley, 2001). Gas oksigen diatomik mengisi 20,9% volume atmosfer bumi. (Cook, *et. al.*, 1968).

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

Baik oksigen cair dan oksigen padat berwarna biru langit. Oksigen cair dengan kadar kemurnian yang tinggi biasanya didapatkan dengan distilasi bertingkat udara cair. Oksigen cair juga dapat dihasilkan dari pengembunan udara, menggunakan nitrogen cair dengan pendingin. Oksigen merupakan zat yang sangat reaktif dan harus dipisahkan dari bahan-bahan yang mudah terbakar.

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:

Reaksi elektrolisis : energi listrik + $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$

Reaksi pembakaran : $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{energi kalor}$

Karena penggunaannya yang aman dan ramah lingkungan, perlu dilakukan usaha untuk meningkatkan produk dari proses elektrolisa air ini menjadi gas hidrogen dan oksigen. (Indra, 2010).

2.5.2 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 direaksikan dan dinyalakan akan meledak disertai panas yang tinggi. Hidrogen adalah unsur kimia dengan nomor atom 1 dan massa atom $1,00797\mu$ atau setara dengan $1,6602 \times 10^{-27} \text{ kg}$, diberi lambang H. Hidrogen merupakan unsur teringan dan yang paling melimpah dengan persentase kira-kira 75% dari total massa unsur alam semesta. (David, 1997).

Hidrogen juga memiliki sifat eksplosif dan oksigen memiliki sifat untuk mendukung proses pembakaran. (Indra, 2010). Pada suhu dan tekanan standar, hidrogen 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, dan biasanya dihasilkan secara industri dari berbagai senyawa hidrokarbon seperti metana. Gas hidrogen sangat mudah terbakar dan akan terbakar pada konsentrasi serendah 4% H_2 di udara bebas. Entalpi pembakaran hidrogen adalah -286 kJ/mol . Hidrogen terbakar menurut persamaan kimia:



Ketika dicampur dengan oksigen dalam berbagai perbandingan, hidrogen meledak seketika saat disulut dengan api dan akan meledak dengan sendirinya pada temperatur 560°C . Sifat-sifat fisis hidrogen ditunjukkan tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 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) 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

2.6 Hipotesa

Dengan penggunaan energi inputan listrik tenaga matahari secara *direct photovoltaic* maka produktivitas *brown's gas* akan meningkat dari waktu ke waktu sampai titik maksimum (12.00 wib) dan turun kembali. Sedangkan dengan penggunaan energi listrik secara *indirect photovoltaic* produksi gas hho akan semakin meningkat dengan semakin bertambahnya waktu elektrolisis.