

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Hidrogen

Hidrogen adalah unsur kimia pada tabel periodik yang memiliki simbol H dan nomor atom 1. Pada suhu dan tekanan standar, hidrogen tidak berwarna, tidak berbau, bersifat non-logam, bervalensi tunggal, dan merupakan gas diatomik yang sangat mudah terbakar.

#### 2.1.1 Karakteristik Gas Hidrogen

Hidrogen adalah gas ringan (lebih ringan dari udara), tidak berwarna dan tidak berbau. Jika terbakar tidak menunjukkan adanya nyala dan akan menghasilkan panas yang sangat tinggi. Gambar 5 adalah karakteristik gas hidrogen dalam konteks adanya tambahan *energy* dari luar terhadap campuran udara (prosentase volume).

Tabel 1. Sifat Fisik Gas Hidrogen

Parameter	Keterangan
Titik lebur	-259,14 <sup>0</sup> C
Titik didih	-252,87 <sup>0</sup> C
Warna	tidak berwarna
Bau	tidak berbau
Densitas	0,08988 g/cm <sup>3</sup> pada 293 K
Kapasitas panas	14,304 J/g <sup>0</sup> K

( Sumber; <http://id.wikipedia.org/wiki/Hidrogen,2017> )

#### 2.1.2 Metode Produksi Hidrogen

Di awal perkembangan teknologi industri dengan menggunakan mesin, produksi hidrogen masih menggunakan hidrokarbon sebagai bahan utamanya. Metode untuk memproduksi hidrogen terus berkembang. Hidrogen dapat diproduksi dari berbagai bahan baku dan menggunakan beberapa teknologi seperti pada Tabel 1. di bawah :

Tabel 2. Beberapa Proses Pembuatan Gas Hidrogen.

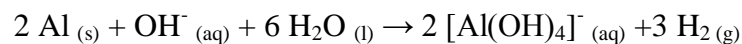
Metode	Proses	Bahan Baku	Energi	Emisi
Thermal	Steam Reforming	Gas Alam, Hidrokarbon ringan	Steam Bersuhu Tinggi	Emisi Gas Rumah Kaca
	Gasifikasi	Batubara, Hidrokarbon Berat	Steam dan oksigen pada tekanan dan suhu tinggi	Emisi gas rumah kaca
	<i>Autothermal Reformation</i> (Oksida Parsial)	Gas Alam, Hidrokarbon ringan	Steam yang dibangkitkan dengan panas proses eksoterm	Emisi gas rumah kaca
	<i>Catalytic Reforming</i>	Naptha dari oil refining	Panas dari proses oil refining	Emisi gas rumah kaca
	Pirolisis	Biomassa	Steam Bersuhu tinggi	Emisi Gas Rumah Kaca
	<i>Thermochemical Water Spliting</i>	Air	Panas bersuhu tinggi	Tidak ada emisi
Elektrokimia	Elektrolisis	Air	Listrik dari energi terbarukan	Tidak ada emisi
	Elektrolisis	Air	Listrik dari bahan bakar fosil	Emisi gas rumah kaca dan emisi lain dari bahan bakar fosil
	<i>Thermal Catalytic Dry Reformation</i>	Metana, air, gas landfill	Panas (dari energi matahari atau sumber panas lain	Emisi gas rumah kaca (tergantung dari <i>feedstock</i> )
	Disosiasi Plasma	Biomassa, gas alam	Listrik ( <i>plasma discharge</i> )	Tidak ada emisi
<i>By Product Recovery</i>	Recovery H <sub>2</sub> dari berbagai proses	Tidak Umpan Spesifik untuk produksi hidrogen	Energi <i>incremental</i> untuk gas <i>clean up</i> dan <i>compressi</i>	Tidak ada emisi
Biologi	<i>Photobiology</i>	Air dan Alga	Sinar Matahari	Tidak ada emisi
	Pencernaan anaerobik	Biomassa	Steam bertemperatur tinggi	Emisi gas rumah kaca dan emisi lain
	Fermentasi mikroorganisme	Biomassa	Steam bertemperatur tinggi	Emisi gas rumah kaca dan emisi lain

Sumber : (Sustainable Development Technology Canada. (2006, November).  
*Renewable Fuel — Hydrogen, SD Business Case™*. Canada Author. )

Proses termal seperti pada tabel diatas mampu menghasilkan hidrogen dalam jumlah yang besar, namun terkendala pada energi yang digunakan dan emisi yang dihasilkan. Proses elektrokimia tidak menghasilkan emisi namun jumlah hidrogen yang dihasilkan sedikit. Sedangkan proses biologi menghasilkan jumlah hidrogen yang sedikit dan penerapannya hanya bisa dilakukan dalam skala kecil. Berkembangnya sistem produksi energi yang ramah lingkungan membuat proses elektrolisis terus dimodifikasi agar menghasilkan hidrogen yang lebih besar.

## 2.2 Korosi Aluminium

Aluminium termasuk unsur yang banyak terdapat di kulit bumi. Umumnya aluminium ditemukan bergabung dengan silikon dan oksigen, seperti dalam aluminosilikat, yang terdapat dalam karang sebagai granit dan tanah liat. Logam aluminium berwarna putih, mengkilat, mempunyai titik leleh tinggi yaitu sekitar 660°C, moderat lunak dan lembek lemah jika dalam keadaan murni, tetapi menjadi keras dan lunak jika dibuat paduan dengan logam-logam lain. Densitasnya sangat ringan sebesar 2,73 g/cm<sup>3</sup>. aluminium merupakan konduktor panas dan konduktor listrik yang baik, namun sifat ini lebih rendah dibandingkan dengan sifat konduktor tembaga. Atas dasar sifat-sifat tersebut, logam aluminium sangat banyak manfaatnya. Dalam industri rumah tangga, misalnya untuk peralatan masak/dapur, dalam industri makanan misalnya untuk pembungkus makanan, kaleng minuman, pembungkus pasta gigi dan lain sebagainya. Reaksi aluminium dengan basa menghasilkan gas hidrogen. Aluminium dapat menunjukkan sifat asamnya jika direaksikan dengan basa seperti larutan KOH.



Dibandingkan dengan logam seperti tembaga, besi, atau seng, aluminium memiliki kelebihan yaitu ringan dan mudah dibentuk. Aluminium mempunyai lapisan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang bisa terkorosi baik pada suasana asam maupun basa.

Logam aluminium sulit dibuat homogen karena ada faktor pengotor, sehingga menimbulkan beda potensial yang bisa menyebabkan korosi galvanis (adanya anoda, katoda, elektrolit dan konduktor) diantara butiran dalam logam aluminium tersebut.

Korosi yang umumnya terjadi pada logam aluminium adalah korosi sumuran (Jones 1992) . Korosi sumuran membentuk lubang-lubang kecil yang kasat mata pada awalnya. Korosi ini berlangsung ketika logam aluminium bereaksi dengan udara lembab. Karena itu korosi pada aluminium ini bisa berkibat pada kebocoran pada material tanpa diketahui sebelumnya, yang artinya fatal jika terjadi pada material industri yang membutuhkan kepresisian tinggi. Jadi perlu perlakuan khusus untuk mencegah hal ini.

### **Meminimalisasi korosi pada logam aluminium menggunakan inhibitor**

Ada beberapa cara yang biasanya digunakan untuk melindungi logam dari korosi antara lain:

- Perlindungan katodik dan anodic
- Pelapisan
- Penggunaan inhibitor

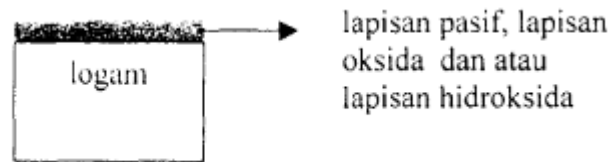
Perlindungan katodik hanya efektif untuk besi atau baja yang lingkungannya berada di dalam air atau didalam tanah. Misalnya pada kapal laut dan jaringan pipa dalam tanah. Sedangkan perlindungan anodik hanya efektif pada lingkungan yang stabil.

Pelapisan yaitu metode yang digunakan dengan memberi lapisan pada permukaan logam yang berfungsi sebagai isolator. Lapisan ini akan mencegah logam aluminium kontak langsung dengan elektrolit dan lingkungan.

Aluminium tahan terhadap korosi karena fenomena pasivasi. Pasivasi adalah pembentukan lapisan pelindung akibat reaksi logam terhadap komponen udara sehingga lapisan tersebut melindungi lapisan dalam logam dari korosi. Inhibitor ditambahkan pada permukaan logam agar mengurangi reaksi antar muka logam dengan lingkungan. Penurunan laju korosi karena berkurangnya daerah anodik, hal ini terjadi akibat terbentuknya lapisan pasif yang menghambat laju pertukaran ion-ion pada logam.

### 2.3 Pasivasi

Pasivasi adalah suatu teknik elektrokimia yang digunakan untuk melindungi logam melalui pembentukan film pasif pada permukaan suatu logam atau material. Kemudian terjadi pelepasan hidrogen dari permukaan logam akibat adanya arus di katoda dan diikuti dengan reduksi dari oksigen.

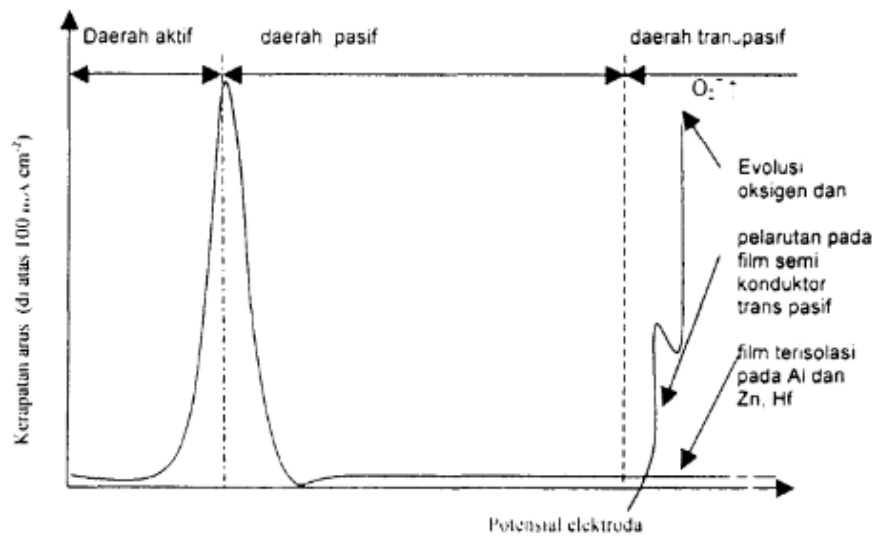


Gambar 1. Struktur lapisan pasif pada permukaan logam

Sumber : <http://staff.uny.ac.id/2006/02/pasivasi-logam.html>

Karakteristik sistem pasif meliputi daerah aktif, daerah pasif dan daerah transpasif. Secara skematik terlihat pada gambar 3.

Kurva pada gambar 3 memperlihatkan bahwa suatu logam yang dipasifkan pada potensial tertentu mempunyai 3 kemungkinan, berada pada daerah aktif yang berarti logam mudah terkorosi, berada pada daerah pasif yang artinya logam terproteksi dari korosi atau pada daerah transpasif, pada daerah ini akan terjadi pelepasan oksigen, dan terjadi pelarutan yang berarti terjadi korosi sumuran atau *pitting corrosion*. Oleh sebab itu besarnya potensial yang harus dipilih harus tepat. Karena apabila potensial yang dipilih berada pada daerah aktif atau transpasif, yang terjadi bukan perlindungan terhadap korosi melainkan justru terkorosi. Selain itu pH larutan juga berpengaruh pada proses pasivasi, seperti yang diperlihatkan dalam penelitian Strehblow dan Titze (P.Marcus, v, Maurice, 2000:142).



Gambar 2. Kurva antara potensial dan arus berbagai logam dalam larutan elektrolit

Sumber : <http://staff.uny.ac.id./2006/02/pasivasi-logam.html>

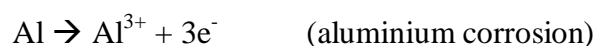
Setiap logam mempunyai kurva potensial elektrode arus yang karakteristik, seperti logam aluminium, sifat aluminium sebagai isolator, maka proses pasivasi pada aluminium untuk ketebalan kurang dari 100  $\mu\text{M}$ . Umumnya lapisan pasif yang terbentuk berpori. Karena film yang terbentuk merupakan film anodic yang menyebabkan terjadinya patahan struktur pada potensial tinggi. Lapisan pasif pada aluminium terdiri dari  $\text{Al}_2\text{O}_3$  di bagian dalam dan  $\text{AlOOH}$  di bagian luar.

Reaksi anodik dalam setiap reaksi korosi merupakan reaksi oksidasi suatu logam menjadi ionnya yang ditandai dengan kenaikan valensi atau pelepasan elektron. Secara umum reaksi anodik dapat dituliskan sebagai berikut :



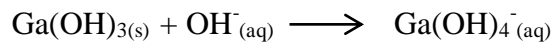
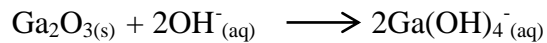
Dimana :  $n$  = jumlah jumlah elektron yang dihasilkan dan nilainya sama dengan valensi ion logam yang terkorosi.

Contoh reaksi anodik :

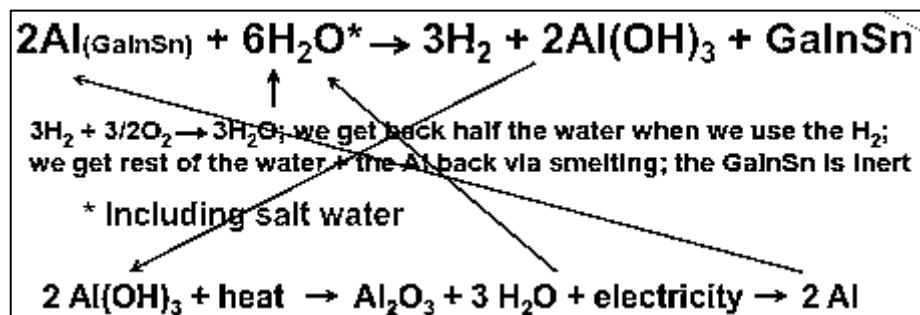


Galium merupakan benda padat yang mudah melebur pada suhu rendah namun mencair lebih lambat di atas suhu kamar dan memang akan melebur di tangan. Terbentuk dalam jumlah sedikit dalam bauksit dan bijih seng. Penerapan pentingnya ialah dalam senyawa galium arsenida, digunakan sebagai semikonduktor, terutama dalam diode pemancar cahaya.

Gallium tidak dapat bereaksi secara langsung dengan basa, yang dapat bereaksi dengan basa adalah senyawa galium oksida dan gallium hidroksida. Reaksi gallium oksida maupun gallium hidroksida dengan basa berlebih menghasilkan senyawa kompleks yang larut dalam air. Persamaan reaksi dalam bentuk ionnya:



Ketika aluminium bereaksi dengan air ia akan membentuk suatu senyawa baru. Karena sifat aluminium yang menyukai oksigen, maka ia akan mudah sekali bereaksi dan membentuk senyawa  $2\text{Al}(\text{OH})_3$  yang mengakibatkan aluminium terkorosi. Hal ini justru akan mengganggu Al ketika bereaksi dengan larutan elektrolit untuk menghasilkan hidrogen. Untuk itu diperlukan Reaksi pasivasi pada aluminium dengan menambahkan logam galium, hal ini dapat dilakukan dengan melarutkan logam aluminium dengan logam galium di atas suhu kamar. dan melindungi atau melapisi bagian permukaan logam aluminium. Oleh sebab itu, aluminium yang sudah berada pada kondisi jenuh yang dikarenakan ketahanan galium tidak terlalu baik lagi melindungi aluminium pada saat reaksi berlangsung lama. Maka dilakukan proses elektrolisis untuk menjadikan logam aluminium kembali ke keadaan semula. Untuk proses *recycle*  $2\text{Al}(\text{OH})_3$  ke  $2\text{Al}$  kembali, terlihat pada reaksi dibawah :



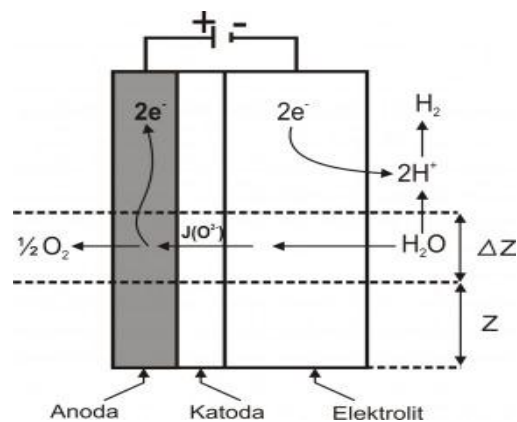
(Woodal, 2012)

## 2.4 Elektrolisis air

Elektrolisis air adalah peristiwa penguraian senyawa air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) menjadi oksigen ( $\text{O}_2$ ) dan hidrogen gas ( $\text{H}_2$ ) dengan menggunakan arus listrik yang melalui air tersebut. Pada katode, dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron, tereduksi menjadi gas  $\text{H}_2$  dan ion hidroksida ( $\text{OH}^-$ ). Sementara itu pada anode, dua molekul air lain terurai menjadi gas oksigen ( $\text{O}_2$ ), melepaskan 4 ion  $\text{H}^+$  serta mengalirkan elektron ke katode. Ion  $\text{H}^+$  dan  $\text{OH}^-$  mengalami netralisasi sehingga terbentuk kembali beberapa molekul air.

Faktor yang mempengaruhi elektrolisis air :

- Kualitas Elektrolit
- Suhu
- Tekanan
- Resistansi Elektrolit
- Material dari elektroda
- Material pemisah



Gambar 3. Elektrolisis Air

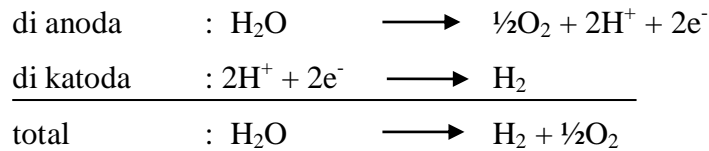
Sumber : <http://smart-pustaka./2013/02/elektrolisis-air.html>

Beda potensial yang dihasilkan oleh arus listrik antara anoda dan katoda akan mengionisasi molekul air menjadi ion positif dan ion negatif. Pada katoda terdapat ion positif yang menyerap elektron dan menghasilkan molekul ion  $\text{H}_2$ , dan ion negatif akan bergerak menuju anoda untuk melepaskan elektron dan menghasilkan molekul ion  $\text{O}_2$ . Reaksi total elektrolisis air adalah penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen. Bergantung pada jenis elektrolit yang digunakan,

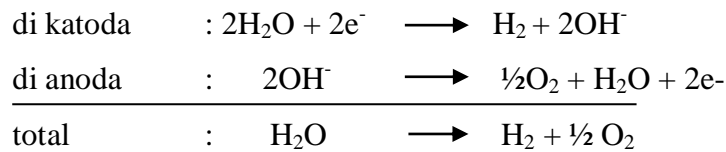


reaksi setengah sel untuk elektrolit asam atau basa dituliskan dalam dua cara yang berbeda.

Elektrolit asam :



Elektrolit basa :



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 *hydrogen*. Dengan menyediakan *energy* dari baterai, Air (H<sub>2</sub>O) dapat dipisahkan ke dalam molekul diatomik hidrogen (H<sub>2</sub>) dan oksigen (O<sub>2</sub>). Gas yang dihasilkan dari proses elektrolisis air disebut gas HHO atau *oxyhydrogen* atau disebut juga *Brown's Gas*. Brown (1974), dalam penelitiannya melakukan elektrolisa air murni sehingga menghasilkan gas HHO yang dinamakan dan dipatenkan dengan nama *Brown's Gas*. Untuk memproduksi *Brown's Gas* digunakan elektroliser untuk memecah molekul-molekul air menjadi gas.

Proses elektrolisis, idealnya satu mol air dapat menghasilkan satu mol hidrogen dan setengah mol oksigen pada suhu 25 oC dan 1 atm. Perubahan entalpi yang terjadi adalah 285,83 kJ sedangkan perubahan entropi (  $T \Delta S$  ) yang terjadi adalah 48,7 kJ. Energi yang diperlukan (disediakan oleh energi listrik dari luar sistem) untuk mengelektrolisis air hanya energi bebas Gibbs saja sebab perubahan entropi dapat diperoleh dari lingkungan. Oleh karena itu, energi yang dibutuhkan menjadi :

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (4.1)$$

Energi listrik yang diperlukan untuk elektrolisis adalah 231,7 kJ/ mol H<sub>2</sub> produk. Energi dalam jumlah yang cukup besar ini digunakan untuk mengatasi berbagai hambatan (energi aktivasi, resistansi listrik, resistansi transport dan resistansi reaksi kimia). Tanpa kelebihan energi, elektrolisis dari

air murni akan berlangsung lambat. Hal ini disebabkan oleh kestabilan air secara termokimia yang menyebabkan susahnya air untuk terionisasi sendiri.

Bidang yang mengkaji perubahan energi listrik dari atau ke energi kimia, yang dirintis oleh Michael Faraday (1791-1867). Pada elektrolisis ini terdapat Hukum Faraday yaitu :

Hukum 1 Faraday :

“Jumlah massa dari zat kimia yang diproduksi pada elektrode selama elektrolisis adalah sebanding dengan kuat arus listrik yang mengalir pada elektrolisis tersebut.”

Kemudian dari hukum Faraday diatas diperoleh rumus :

$$M = \frac{I \cdot t \cdot e}{F} \quad (4.2)$$

dimana :

M = massa zat dalam gram

e = berat ekivalen dalam gram = berat atom : valensi

i = kuat arus dalam Ampere

t = waktu dalam detik

F = Faraday

Dalam elektrolisis ini terdapat konstanta Faraday, yaitu jumlah muatan listrik dalam satu mol elektron.

$$F = N \cdot e \quad (4.3)$$

*(Hoffman, at all, 2000)*

N menjelaskan bilangan Avogadro sebesar  $6.02 \times 10^{23}$  /mol, e adalah jumlah muatan listrik untuk satu elektron sebesar  $1.602 \times 10^{-19}$  Coulomb/elektron.

Maka, nilai F yang diperoleh adalah :

$$F = (6.02 \times 10^{23}) \times (1.602 \times 10^{-19})$$

$$F = 96485 \text{ C/mol}$$

Elektrolisis air tidak dapat mengkonversi 100 % energi listrik menjadi energi kimia pada hidrogen. Proses ini membutuhkan energi yang jauh lebih besar untuk mengaktifkan air agar dapat terionisasi. Jumlah energi yang diperlukan ini tidak sebanding dengan jumlah hidrogen yang dihasilkan. Dengan menggunakan metode elektrolisis biasa hanya sekitar 4 % produksi hidrogen yang dihasilkan dari air murni.

## 2.5 Katalis Elektrolit

Proses elektrolisis akan lebih baik jika menggunakan larutan elektrolit. Larutan elektrolit adalah larutan yang dapat menghantarkan listrik. Larutan elektrolit dibagi menjadi tiga golongan :

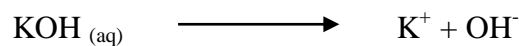
- a. Asam, seperti asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ), asam klorida ( $\text{HCl}$ ), Asam karboksilat ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), Asam Format ( $\text{HCOOH}$ ), Asam Florida ( $\text{HF}$ ), Asam Karbonat ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ).
- b. Basa, seperti natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ), kalium hidroksida ( $\text{KOH}$ ), barium hidroksida [ $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ], Ammonium Hidroksida ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ), metanol, etanol.
- c. Garam : hampir semua senyawa kecuali garam merkuri,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ .

Karakter elektrolit yang baik dalam elektrolisis lebih ditekankan pada mudah menghantarkan arus listrik serta karakter korosi yang dimilikinya.

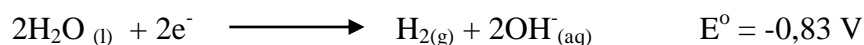
Dengan tujuan untuk meningkatkan konduktivitas larutan, elektrolit yang terdiri dari ion-ion dengan mobilitas tinggi secara umum digunakan di elektrolizer. Kalium Hidroksida adalah garam yang secara umum digunakan dalam elektrolisis air karena dapat mencegah korosi besar-besaran yang disebabkan oleh elektron.

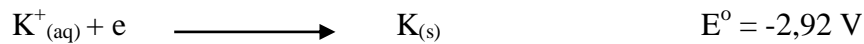
Selain itu dengan menggunakan larutan  $\text{KOH}$ , kemungkinan produksi hidrogen bisa ditingkatkan. Hal ini dikarenakan  $\text{KOH}$  dapat menyebarkan muatan listrik karena fungsinya sebagai zat dielektrikum, sehingga proses pemecahan air menjadi radikal-radikal yang selanjutnya bereaksi lanjut menghasilkan hidrogen dan oksigen menjadi optimal. Selain itu kalium berbeda dengan natrium yang tidak terurai selama proses elektrolisis, sehingga peran  $\text{KOH}$  dalam meningkatkan konduktivitas larutan tidak hilang selama reaksi.

Pada saat aliran listrik mengalir dalam larutan elektrolit  $\text{KOH}$  akan terjadi reaksi :



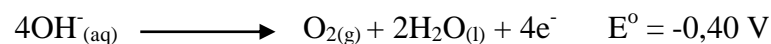
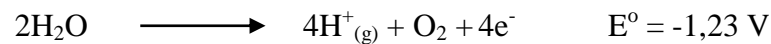
Reaksi reduksi terjadi pada air yang terdapat pada katoda yang bermuatan negatif dengan elektron ( $e^-$ ) dari katoda. Kemungkinan reaksi reduksi yang terjadi di katoda adalah reduksi air dan reduksi ion  $\text{K}^+$ .





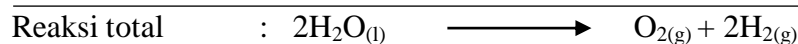
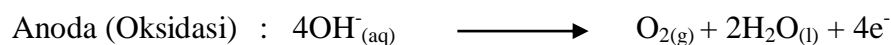
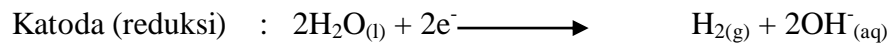
Pada elektrolisis larutan yang mengandung ion-ion golongan IA ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ), ion-ion tersebut tidak tereduksi pada katoda tetapi air yang mengalami reduksi karena potensial reduksi air lebih besar dari potensial reduksi K.

Kemungkinan reaksi oksidasi yang terjadi di anoda adalah oksidasi ion  $\text{OH}^-$  dan oksidasi air.



Oleh karena potensial oksidasi  $\text{OH}^-$  lebih besar dari potensial oksidasi  $\text{H}_2\text{O}$ , maka oksidasi  $\text{OH}^-$  lebih mudah berlangsung.

Elektrolisis larutan KOH akan menghasilkan gas hidrogen di katoda dan menghasilkan gas oksigen di anoda seperti reaksi di bawah ini :



$$E^\circ = -1,23 \text{ V} ; \Delta H = 285,83 \text{ kJ/mol}$$

## 2.6 Elektroda

Elektroda adalah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian atau media non-logam dari sebuah sirkuit (misal semikonduktor, elektrolit atau vakum). Elektroda adalah suatu sistem dua fase yang terdiri dari sebuah penghantar elektrolit (misalnya logam) dan sebuah penghantar ionik (larutan) (Rivai, 1995). Elektroda positif (+) disebut anoda sedangkan elektroda negatif (-) adalah katoda (Svehla, 1985). Reaksi kimia yang terjadi pada elektroda selama terjadinya konduksi listrik disebut elektrolisis dan alat yang digunakan untuk reaksi ini disebut sel elektrolisis. Sel elektrolisis memerlukan energi untuk memompa elektron. (Brady, 1999).

Pada anoda terjadi reaksi oksidasi, yaitu anion (ion negatif) ditarik oleh anoda sehingga jumlah elektronnya berkurang atau bilangan oksidasinya

bertambah. Pada katoda terjadi reaksi reduksi, yaitu kation (ion positif) ditarik oleh katoda dan menerima tambahan elektron, sehingga bilangan oksidasinya berkurang.

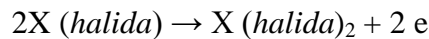
Jika elektroda inert (Pt, C, dan Au), ada 3 macam reaksi:

1. Jika anionnya sisa asam oksida (misalnya  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ), maka reaksinya



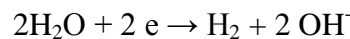
2. Jika anionnya  $\text{OH}^-$ , maka reaksinya  $4\text{OH}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e}$

3. Jika anionnya berupa halida ( $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ), maka reaksinya adalah

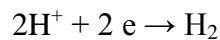


Pada katoda terjadi reaksi reduksi, yaitu kation (ion positif) ditarik oleh katoda dan menerima tambahan elektron, sehingga bilangan oksidasinya berkurang.

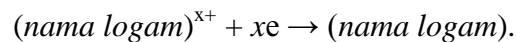
1. Jika kation merupakan logam golongan IA (Li, Na, K, Rb, Cs, Fr), IIA (Be, Mg, Cr, Sr, Ba, Ra), Al, dan Mn, maka reaksi yang terjadi adalah



2. Jika kationnya berupa  $\text{H}^+$ , maka reaksinya :



3. Jika kation berupa logam lain, maka reaksinya :



## 2.7 Menghitung Jumlah Gas Hidrogen yang Terproduksi

### 2.7.1 Hukum Gas Ideal

Gas ideal adalah gas teoritis yang terdiri dari partikel-partikel titik yang bergerak secara acak dan tidak saling berinteraksi. Konsep gas ideal sangat berguna karena memenuhi hukum gas ideal, sebuah persamaan keadaan yang disederhanakan, sehingga dapat dianalisis dengan mekanika statistika.

Pada kondisi normal seperti temperatur dan tekanan standar, kebanyakan gas nyata berperilaku seperti gas ideal. Banyak gas seperti nitrogen, oksigen, hidrogen, gas mulia dan karbon dioksida dapat diperlakukan seperti gas ideal dengan perbedaan yang masih dapat ditolerir. Secara umum, gas berperilaku seperti gas ideal pada temperatur tinggi dan tekanan rendah, karena kerja yang melawan gaya intermolekuler menjadi jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan

energi kinetik partikel, dan ukuran molekul juga menjadi jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan ruangan kosong antar molekul.

Model gas ideal tak dapat dipakai pada suhu rendah atau tekanan tinggi, karena gaya intermolekuler dan ukuran molekul menjadi penting. Model gas ideal juga tak dapat dipakai pada gas-gas berat seperti refrigeran atau gas dengan gaya intermolekuler kuat, seperti uap air. Pada beberapa titik ketika suhu rendah dan tekanan tinggi, gas nyata akan menjalani fase transisi menjadi liquid atau solid. Model gas ideal tidak dapat menjelaskan atau memperbolehkan fase transisi. Hal ini dapat dijelaskan dengan persamaan keadaan yang lebih kompleks. Pada Gas Ideal formula dapat dijelaskan sebagai berikut :

$$PV = nRT \quad (4.4)$$

Dimana :

P = Tekanan Tabung Penampung Gas (atm)

v<sub>1</sub> = Volume Awal (liter)

v<sub>2</sub> = Volume Akhir ( liter )

n = Mol gas H<sub>2</sub>

R = Konstanta Gas 0,082 L·atm·K<sup>-1</sup>·mol<sup>-1</sup>

T = Suhu (K)

(Sumber : Hougen, 1960)

## 2.8 Menghitung Efisiensi

Pada penelitian ini untuk menghitung efisiensi dari suatu alat elektrolisis dapat dihitung dengan persamaan berikut :

### 2.8.1 Efisiensi Reaktor ACE

Efisiensi merupakan perbandingan antara energi yang berguna dengan energi yang diberikan pada suatu sistem. Pada Generator HHO , hasil yang berguna adalah prosuk elektrolisis air berupa gas HHO yang didapatkan pada reaksi penguraian air ( H<sub>2</sub>O ).



( Sumber : Hiskia Achmad, 2001 )

Reaksi Endoterm yang menghasilkan energi entalpi yang dibutuhkan untuk memecah molekul H<sub>2</sub>O menjadi H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> bernilai positif ( + ). Energi entalpi yang dihasilkan adalah +285.84 kJ/mol.

$$\% \text{ Efisiensi Alat} = \frac{\text{Energi Teoritis yang digunakan}}{\text{Energi Aktual yang digunakan}} \times 100 \% \quad (4.5)$$

(Sumber : Digilib.ui.ac.id,2014)