

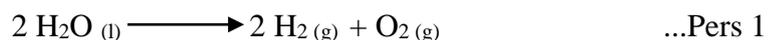
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sel Elektrolisis

Elektrolisis adalah penguraian suatu elektrolit oleh arus listrik. Pada sel elektrolisis, reaksi kimia akan terjadi jika arus listrik dialirkan melalui larutan elektrolit, yaitu energi listrik (arus listrik) diubah menjadi energi kimia (reaksi redoks). Tiga ciri utama, yaitu:

1. Ada larutan elektrolit yang mengandung ion bebas. Ion-ion ini dapat memberikan atau menerima elektron sehingga elektron dapat mengalir melalui larutan.
2. Ada sumber arus listrik dari luar, seperti baterai yang mengalirkan arus listrik searah (DC).
3. Ada 2 elektroda dalam sel elektrolisis. Elektroda yang menerima elektron dari sumber arus listrik luar disebut Katoda, sedangkan elektroda yang mengalirkan elektron kembali ke sumber arus listrik luar disebut Anoda. Katoda adalah tempat terjadinya reaksi reduksi yang elektrodanya negative (-) dan Anoda adalah tempat terjadinya reaksi oksidasi yang elektrodanya positive (+).

Sel Elektrolisis adalah sel yang menggunakan arus listrik untuk menghasilkan reaksi redoks yang diinginkan dan digunakan secara luas di dalam masyarakat kita. Baterai aki yang dapat diisi ulang merupakan salah satu contoh aplikasi sel elektrolisis dalam kehidupan sehari-hari. Baterai aki yang sedang diisi kembali (*recharge*) mengubah energi listrik yang diberikan menjadi produk berupa bahan kimia yang diinginkan. Air, H₂O, dapat diuraikan dengan menggunakan listrik dalam sel elektrolisis. Proses ini akan mengurai air menjadi unsur-unsur pembentuknya. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



(Sumber : Hiskia Achmad, 2001)

Rangkaian sel elektrolisis hampir menyerupai sel volta. Yang membedakan sel elektrolisis dari sel volta adalah, pada sel elektrolisis, komponen voltmeter diganti dengan sumber arus (umumnya baterai). Larutan atau lelehan yang ingin

dielektrolisis, ditempatkan dalam suatu wadah. Selanjutnya, elektroda dicelupkan ke dalam larutan maupun lelehan elektrolit yang ingin dielektrolisis. Elektroda yang digunakan umumnya merupakan elektroda inert, seperti Grafit (C), Platina (Pt), dan Emas (Au). Elektroda berperan sebagai tempat berlangsungnya reaksi. Reaksi reduksi berlangsung di katoda, sedangkan reaksi oksidasi berlangsung di anoda. Kutub negatif sumber arus mengarah pada katoda (sebab memerlukan elektron) dan kutub positif sumber arus tentunya mengarah pada anoda. Akibatnya, katoda bermuatan negatif dan menarik kation-kation yang akan tereduksi menjadi endapan logam. Sebaliknya, anoda bermuatan positif dan menarik anion-anion yang akan teroksidasi menjadi gas. Terlihat jelas bahwa tujuan elektrolisis adalah untuk mendapatkan endapan logam di katoda dan gas di anoda.

Faktor yang mempengaruhi elektrolisis antara lain adalah:

1. Penggunaan katalisator Katalisator

Misalnya H_2SO_4 dan KOH berfungsi mempermudah proses penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen karena ion-ion katalisator mampu mempengaruhi kestabilan molekul air menjadi menjadi ion H dan OH^- yang lebih mudah di elektrolisis karena terjadi penurunan energi pengaktifan.

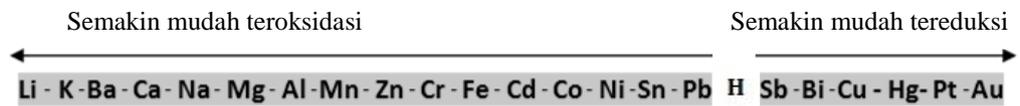
2. Luas permukaan tercelup

Semakin banyak luas yang semakin banyak menyentuh elektrolit maka semakin mempermudah suatu elektrolit untuk mentransfer elektronnya. Sehingga terjadi hubungan sebanding jika luasan yang tercelup sedikit maka semakin mempersulit elektrolit untuk melepaskan electron dikarenakan sedikitnya luas penampang penghantar yang menyentuh elektrolit. Sehingga transfer elektron bekerja lambat dalam mengelektrolisis elektrolit

3. Sifat logam bahan elektroda

Penggunaan medan listrik pada logam dapat menyebabkan seluruh elektron bebas bergerak dalam metal, sejajar, dan berlawanan arah dengan arah medan listrik. Konduktivitas listrik didefinisikan sebagai ratio rapat

arus terhadap kuat medan listrik. Konduktifitas listrik dapat dilihat pada deret volta seperti berikut.



4. Konsentrasi Pereaksi

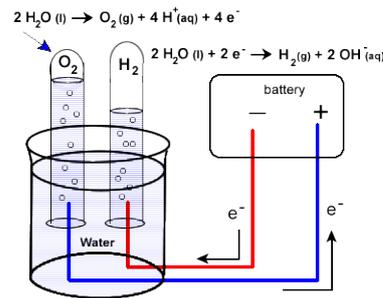
Semakin besar konsentrasi suatu larutan pereaksi maka akan semakin besar pula laju reaksinya. Ini dikarenakan dengan prosentase katalis yang semakin tinggi dapat mereduksi hambatan pada elektrolit. Sehingga transfer electron dapat lebih cepat meng-elektrolisis elektrolit dan didapat ditarik garis lurus bahwa terjadi hubungan sebanding terhadap prosentase katalis dengan transfer elektron.

2.2 Elektrolisis Air

Elektrolisis air adalah peristiwa penguraian senyawa air (H_2O) menjadi oksigen (O_2) dan hidrogen gas (H_2) dengan menggunakan arus listrik yang melalui air tersebut. Pada katode, dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron, tereduksi menjadi gas H_2 dan ion hidrokida (OH^-). Sementara itu pada anode, dua molekul air lain terurai menjadi gas oksigen (O_2), melepaskan 4 ion H^+ serta mengalirkan elektron ke katode. Ion H^+ dan OH^- mengalami netralisasi sehingga terbentuk kembali beberapa molekul air.

Faktor yang mempengaruhi elektrolisis air :

- a. Kualitas Elektrolit
- b. Suhu
- c. Tekanan
- d. Resistansi Elektrolit
- e. Material dari elektroda
- f. Material pemisah



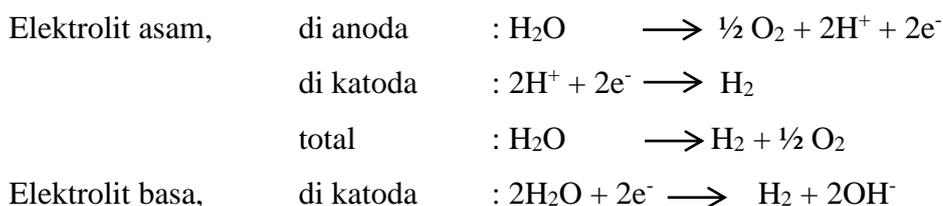
Gambar 1. Elektrolisis Air

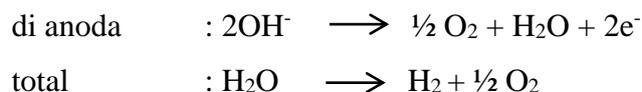
(Sumber : <http://smart-pustaka./2013/02/elektrolisis-air.html>)

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_2O) dapat dipisahkan ke dalam molekul diatomik hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2).

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.

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 H_2 , dan ion negatif akan bergerak menuju anoda untuk melepaskan elektron dan menghasilkan molekul ion 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.





2.3 Air

Air adalah substansi kimia dengan rumus kimia H₂O, satu molekul air tersusun atas dua atom hidrogen yang terikat secara kovalen pada satu atom oksigen. Air bersifat tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau pada kondisi standar, yaitu pada tekanan 100 kPa (1 bar) and temperatur 273,15 K (0°C). Zat kimia ini merupakan suatu pelarut yang penting, yang memiliki kemampuan untuk melarutkan banyak zat kimia lainnya, seperti garam-garam, gula, asam, beberapa jenis gas dan banyak macam molekul organik. Air sering disebut sebagai *pelarut universal* karena air melarutkan banyak zat kimia. Air berada dalam kesetimbangan dinamis antara fase cair dan padat di bawah tekanan dan temperatur standar. Dalam bentuk ion, air dapat dideskripsikan sebagai sebuah ion hidrogen (H⁺) yang berasosiasi (berikatan) dengan sebuah ion hidroksida (OH⁻). Berikut adalah tetapan fisik air pada temperatur tertentu :

Tabel 1. Ketetapan Fisik Air

Parameter	Nilai
Rumus Molekul	H ₂ O
Massa Molar	18.02 gram/mol
Volume Molar	55.5 mol/liter
Kerapatan	Liquid 1000 kg/m ³ , solid 917 kg/m ³
Titik Leleh	0 °C (273 K) (32 °F)
Titik Didih	100 °C (373.15 K) (212 °F)
Titik Beku	0 °C pada 1 atm
Kalor Jenis	4186 J/kg K
Tegangan Permukaan	75.64 dyne/cm pada 0° 72.75 dyne/cm pada 20° 67.91 dyne/cm pada 50° 58.8 dyne/cm pada 100°
Tekanan Uap	0,0212 atm pada 20 °C
Kalor Penguapan	40,63 kJ/mol
Kalor Pembentukan	6,013 kJ/mol
Kapasitas Kalor	4,22 kJ/kg K
Konstanta dielektrik	78,54 pada 25 °C
Temperatur Kritis	647 K
Tekanan Kritis	22,1 x 10 ⁶ Pa
Konduktivitas Panas	1.39 x 10 ⁻³ kal/ cm ⁻¹ s ⁻¹ °C

(Sumber :<http://wikipedia.com>, 2013)

Alasan mengapa hidrogen berikatan dengan oksigen membentuk fase berkeadaan cair, adalah karena oksigen lebih bersifat elektronegatif ketimbang elemen-elemen lain tersebut (kecuali fluor). Tarikan atom oksigen pada elektron-elektron ikatan jauh lebih kuat dari pada yang dilakukan oleh atom hidrogen, meninggalkan jumlah muatan positif pada kedua atom hidrogen, dan jumlah muatan negatif pada atom oksigen. Adanya muatan pada tiap-tiap atom tersebut membuat molekul air memiliki sejumlah momen dipol. Gaya tarik-menarik listrik antar molekul-molekul air akibat adanya dipol ini membuat masing-masing molekul saling berdekatan, membuatnya sulit untuk dipisahkan dan yang pada akhirnya menaikkan titik didih air. Gaya tarik-menarik ini disebut sebagai ikatan hidrogen.

2.4 Larutan Elektrolit

Elektrolit adalah suatu zat yang larut atau terurai ke dalam bentuk ion-ion dan selanjutnya larutan menjadi konduktor elektrik, ion-ion merupakan atom-atom bermuatan elektrik. Elektrolit bisa berupa air, asam, basa atau berupa senyawa kimia lainnya. Elektrolit umumnya berbentuk asam, basa atau garam. Beberapa gas tertentu dapat berfungsi sebagai elektrolit pada kondisi tertentu misalnya pada suhu tinggi atau tekanan rendah. Elektrolit kuat identik dengan asam, basa, dan garam kuat. Elektrolit merupakan senyawa yang berikatan ion dan kovalen polar. Sebagian besar senyawa yang berikatan ion merupakan elektrolit sebagai contoh ikatan ion NaCl yang merupakan salah satu jenis garam yakni garam dapur. NaCl dapat menjadi elektrolit dalam bentuk larutan dan lelehan. atau bentuk liquid dan aqueous. sedangkan dalam bentuk solid atau padatan senyawa ion tidak dapat berfungsi sebagai elektrolit. Bila larutan elektrolit dialiri arus listrik, ion-ion dalam larutan akan bergerak menuju electrode dengan muatan yang berlawanan, melalui cara ini arus listrik akan mengalir dan ion bertindak sebagai penghantar, sehingga dapat menghantarkan arus listrik.

Proses oksidasi dan reduksi sebagai reaksi pelepasan dan penangkapan oleh suatu zat. Oksidasi adalah proses pelepasan elektron dari suatu zat sedangkan reduksi adalah proses penangkapan electron oleh suatu zat.

Tabel 2. Sifat Daya Hantar Listrik dalam Larutan

Jenis Larutan	Sifat dan Pengamatan lain	Contoh Senyawa	Reaksi Ionisasi
Elektrolit Kuat	- Terionisasi Sempurna		$\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$
	- Menghantarkan Arus listrik	$\text{NaCl}, \text{NaOH},$	$\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^-$
	- Lampu menyala terang	$\text{H}_2\text{SO}_4, \text{HCl},$	$\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$
	- Terdapat gelembung gas	dan KCl	$\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$ $\text{KCl} \rightarrow \text{K}^+ + \text{Cl}^-$
Elektrolit Lemah	- Terionisasi sebagian		$\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{H}^+ +$
	- Menghantarkan arus listrik	$\text{CH}_3\text{COOH},$	CH_3COOH^-
	- Lampu menyala redup	$\text{N}_4\text{OH}, \text{HCN}$	$\text{HCN} \rightarrow \text{H}^+ + \text{CN}^-$
- Terdapat gelembung gas	dan $\text{Al}(\text{OH})_3$	$\text{Al}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{Al}^{3+} + \text{OH}^-$	
Non Elektrolit	- Tidak Terionisasi		$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$
	- Tidak menghantarkan arus Listrik	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$
	- Lampu tidak menyala	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$
	- Tidak terdapat gelembung Gas	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
		$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	

(Sumber : Hiskia Achmad , 2001)

2.4.1 Jenis Elektrolit

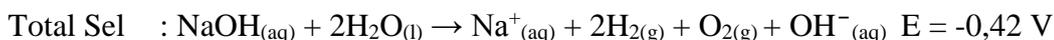
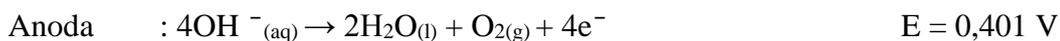
Berdasarkan daya hantarnya larutan elektrolit terbagi menjadi tiga, yaitu :

1. Larutan elektrolit kuat

Larutan elektrolit kuat adalah larutan yang banyak menghasilkan ion – ion karena terurai sempurna, maka harga derajat ionisasi (α) = 1. Beberapa elektrolit seperti kalium klorida, natrium hidroksida, natrium nitrat terionisasi sempurna menjadi ion-ionnya dalam larutan. Elektrolit yang terionisasi sempurna disebut dengan elektrolit kuat. Dengan kata lain, elektrolit kuat terionisasi 100%.

Secara umum asam kuat seperti asam sulfat, asam nitrat, asam klorida, dan basa kuat seperti kalium hidroksida dan garam adalah elektrolit kuat. Sebagai contoh :

a. Elektrolisis larutan NaOH dengan elektroda Pt, reaksinya:

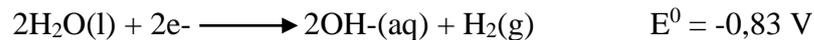


b. Elektrolisis larutan KOH dengan elektroda Pt, reaksinya:

- **Reaksi pada Katode (reduksi terhadap kation)**

1. Ion-ion logam alkali, alkali tanah, Al^{3+} , dan ion-ion logam yang memiliki E^0 lebih kecil dari $-0,83$ volt tidak direduksi dari larutan. Spesies yang direduksi adalah pelarut (air) dan terbentuklah gas hidrogen (H_2).

Reaksi yang terjadi adalah:



2. Ion-ion logam yang memiliki E^0 lebih besar dari $-0,83$ volt direduksi menjadi logam yang diendapkan pada permukaan katode.

Reaksi yang terjadi adalah: $Mn^+_{(aq)} + ne^- \longrightarrow M(s)$

3. Ion H^+ dari asam akan direduksi menjadi gas hidrogen (H_2).

Reaksi yang terjadi adalah: $2H^+_{(aq)} + 2e^- \longrightarrow H_2(g)$

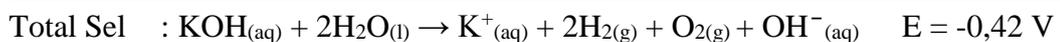
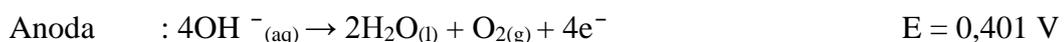
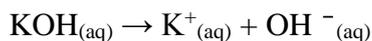
4. Jika yang dielektrolisis adalah leburan (cairan) elektrolit tanpa ada air, maka kation akan mengalami reduksi sehingga diperoleh logam yang diendapkan pada permukaan katode.

Reaksi yang terjadi adalah: $Mn^+_{(aq)} + ne^- \longrightarrow M(s)$

- **Reaksi pada Anode (oksidasi terhadap anion)**

Reaksi yang terjadi pada anode tergantung pada jenis elektrode yang digunakan.

Sehingga reaksi pada katoda dan anoda untuk Larutan KOH menjadi :



(Sumber : Hiskia Achmad , 2001)

Contoh dari Larutan Elektrolit Kuat, yaitu :

- Larutan KOH

KOH merupakan senyawa basa, jika dilarutkan ke dalam air maka akan membentuk larutan KOH. KOH tersebut akan menjadi katalisator yang berfungsi untuk mempermudah pemutusan ikatan gas hidrogen dan oksigen dalam air. Semakin besar konsentrasi larutan KOH ketika dielektrolisis, diduga semakin besar

pula peluang untuk menghasilkan gas hidrogen dan oksigen dalam jumlah banyak. Begitu pula pengaruh arus yang diberikan semakin banyak gelembung-gelembung yang muncul dari permukaan katoda. Gelembung-gelembung tersebut diduga merupakan proses pemutusan ikatan antara H₂ dan O₂ di dalam senyawa air sehingga H₂ dan O₂ semakin banyak. (Marwan Putra, 2010)

5. Larutan elektrolit lemah

Larutan elektrolit lemah adalah larutan yang daya hantar listriknya lemah dengan harga derajat ionisasi sebesar $0 < \alpha < 1$. Larutan elektrolit lemah mengandung zat yang hanya sebagian kecil menjadi ion – ion ketika larut dalam air. Yang tergolong elektrolit lemah adalah:

- Asam–asam lemah
- Garam–garam yang sukar larut
- Basa–basa lemah

Adapun larutan elektrolit yang tidak memberikan gejala lampu menyala, tetapi menimbulkan gas termasuk ke dalam larutan elektrolit lemah. Contohnya adalah larutan ammonia, larutan cuka dan larutan H₂S.

6. Larutan non elektrolit

Larutan non elektrolit adalah larutan yang tidak dapat menghantarkan arus listrik karena zat terlarutnya di dalam pelarut tidak dapat menghasilkan ion–ion. Yang tergolong jenis larutan ini adalah larutan urea, larutan sukrosa, larutan glukosa, alkohol dan lain–lain.

2.5 Elektroda

Elektroda adalah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian atau media non-logam dari sebuah sirkuit (misal semikonduktor, elektrolit atau vakum). Ungkapan kata ini diciptakan oleh ilmuwan Michael Faraday dari bahasa Yunani elektron (berarti amber, dan hodos sebuah cara).

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).

Tabel 3. Nilai Potensial Reduksi Standar Beberapa Elektroda

Kopel (oks/red)	Reaksi katoda (reduksi)	E°, Potensial reduksi, volt (elektroda hidrogen standar = 0)
Li ⁺ /Li	Li ⁺ + e ⁻ ⇌ Li	-3,04
K ⁺ /K	K ⁺ + e ⁻ ⇌ K	-2,92
Ca ²⁺ /Ca	Ca ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Ca	-2,87
Na ⁺ /Na	Na ⁺ + e ⁻ ⇌ Na	-2,71
Mg ²⁺ /Mg	Mg ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Mg	-2,37
Al ³⁺ /Al	Al ³⁺ + 3e ⁻ ⇌ Al	-1,66
Zn ²⁺ /Zn	Zn ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Zn	-0,76
Fe ²⁺ /Fe	Fe ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Fe	-0,44
PbSO ₄ /Pb	PbSO ₄ + 2e ⁻ ⇌ Pb + 2SO ₄	-0,36
Co ²⁺ /Co	Co ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Co	-0,28
Ni ²⁺ /Ni	Ni ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Ni	-0,25
Sn ²⁺ /Sn	Sn ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Sn	-0,14
Pb ²⁺ /Pb	Pb ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Pb	-0,13
D ⁺ /D ₂	2D ⁺ + 2e ⁻ ⇌ D ₂	-0,003
H ⁺ /H ₂	2H ⁺ + 2e ⁻ ⇌ H ₂	0,000
Sn ⁴⁺ /Sn ²⁺	Sn ⁴⁺ + 2e ⁻ ⇌ Sn ²⁺	+0,15
Cu ²⁺ /Cu	Cu ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Cu	+0,34
I ₂ /I ⁻	I ₂ + 2e ⁻ ⇌ 2I ⁻	+0,54
O ₂ /H ₂ O ₂	O ₂ + 2H ⁺ + 2e ⁻ ⇌ H ₂ O ₂	+0,68
Fe ³⁺ /Fe ²⁺	Fe ³⁺ + e ⁻ ⇌ Fe ²⁺	+0,77
Hg ₂ ²⁺ /Hg	Hg ₂ ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ 2Hg	+0,79
Ag ⁺ /Ag	Ag ⁺ + e ⁻ ⇌ Ag	+0,80
NO ₃ ⁻ /N ₂ O ₄	2NO ₃ ⁻ + 4H ⁺ + 2e ⁻ ⇌ N ₂ O ₄ + 2H ₂ O	+0,80
NO ₃ ⁻ /NO	NO ₃ ⁻ + 4H ⁺ + 3e ⁻ ⇌ NO + 2H ₂ O	+0,96
Br ₂ /Br	Br ₂ + 2e ⁻ ⇌ 2Br	+1,07
O ₂ /H ₂ O	O ₂ + 4H ⁺ + 4e ⁻ ⇌ 2H ₂ O	+1,23
Cr ₂ O ₇ ²⁻ /Cr ³⁺	Cr ₂ O ₇ ²⁻ + 14H ⁺ + 6e ⁻ ⇌ 2Cr ³⁺ + 7H ₂ O	+1,33
Cl ₂ /Cl ⁻	Cl ₂ + 2e ⁻ ⇌ 2Cl ⁻	+1,36
PbO ₂ /Pb ²⁺	PbO ₂ + 4H ⁺ + 2e ⁻ ⇌ Pb ²⁺ + H ₂ O	+1,46
Au ³⁺ /Au	Au ³⁺ + 3e ⁻ ⇌ Au	+1,50
MnO ₄ ⁻ /Mn ²⁺	MnO ₄ ⁻ + 8H ⁺ + 5e ⁻ ⇌ Mn ²⁺ + 4H ₂ O	+1,51
HClO/CO ₂	2HClO + 2H ⁺ + 2e ⁻ ⇌ Cl ₂ + 2H ₂ O	+1,63
PbO ₂ /PbSO ₄	PbO ₂ + SO ₄ ²⁻ + 4H ⁺ + 2e ⁻ ⇌ PbSO ₄ + 2H ₂ O	+1,68
H ₂ O ₂ /H ₂ O	H ₂ O ₂ + 2H ⁺ + 2e ⁻ ⇌ 2H ₂ O	+1,78
F ₂ /F	F ₂ + 2e ⁻ ⇌ 2F	+2,87

(Sumber : Hiskia Achmad , 2001)

2.6 *Stainless Steel*

Baja tahan karat atau lebih dikenal dengan *Stainless Steel* adalah senyawa besi yang mengandung setidaknya 10,5% Kromium untuk mencegah proses korosi (pengkaratan logam). Kemampuan tahan karat diperoleh dari terbentuknya lapisan film oksida Kromium, dimana lapisan oksida ini menghalangi proses oksidasi besi (Ferum). *Stainless steel* dapat bertahan dari serangan karat berkat interaksi bahan-bahan campurannya dengan alam. *Stainless steel* terdiri dari besi, krom, mangan, silikon, karbon dan seringkali nikel and molibdenum dalam jumlah yang cukup banyak.

2.6.1 *Jenis Stainless Steel*

Jenis - jenis *Stainless Steel* berdasarkan campurannya dibagi menjadi 4 kelompok yaitu :

1. *Kelompok Stainless Steel Martensitic*

Martensitic memiliki kandungan *chrome* sebesar 12% sampai maksimal 14% dan *carbon* pada kisaran 0,08 – 2,0%. Kandungan karbon yang tinggi merupakan hal yang baik dalam merespon panas untuk memberikan berbagai kekuatan mekanis, misalnya kekerasan baja. Baja tahan karat kelas *martensitic* menunjukkan kombinasi baik terhadap ketahanan korosi dan sifat mekanis mendapat perlakuan panas pada permukaannya sehingga bagus untuk berbagai aplikasi. Baja tahan karat kelompok ini bersifat *magnetis*.

Pada kelompok atau klasifikasi martensic di bagi dalam beberapa tipe yang antara lain adalah:

a. Tipe 410

Memiliki kandungan *chrome* sebanyak 13% dan 0,15% *carbon*, jenis yang paling baik di gunakan pada pengerjaan dingin.

b. Tipe 416

Memiliki kandungan yang sama dengan tipe 410, namun ada penambahan unsur *shulpur*.

c. Tipe 431

Mengandung 175 *chrome*, 2,5% *nikel* dan 0,15% maksimum *carbon*.

2. Kelompok *Stainless Steel Ferritic*

Ferritic memiliki kandungan *chrome* sebanyak 17% dan *carbon* antara 0,08 – 0,2%. Memiliki sifat ketahanan korosi yang meningkat pada suhu tinggi. Namun sulit di lakukan perlakuan panas kepada kelompok *stainless steel* ini sehingga penggunaan menjadi terbatas, Baja tahan karat kelompok ini bersifat *magnetis*. Pada kelompok atau klasifikasi ferritic di bagi dalam beberapa tipe yang antara lain adalah:

a. Tipe 430

Memiliki kandungan *chrome* sebanyak 17%, dan kandungan baja yang rendah. Tahan sampai *temperature* / suhu 800%, biasanya di buat dalam bentuk baja *strip*.

3. Kelompok *Stainless Steel Austenitic*

Austenitic memiliki kandungan *chrome* pada kisaran 17% – 25% dan Nikel pada kisaran 8 – 20% dan beberapa unsur / elemen tambahan dalam upaya mencapai sifat yang di inginkan. Baja tahan karat kelompok ini adalah non magnetic.

Pada kelompok atau klasifikasi austenitic di bagi dalam beberapa tipe yang antara lain adalah:

a. Tipe 304

Tipe ini dibuat dengan bahan dan pertimbangan ekonomis, sangat baik untuk lingkungan tercemar dan di air tawar namun tidak di anjurkan pemakaiannya.

b. Tipe 321

Merupakan variasi dari type 304 namun dengan penambahan *titanium* dan *carbon* secara proporsional. Lumayan baik untuk pengerjaan suhu tinggi.

c. Tipe 347

Mirip dengan type 321 tetapi dengan penambahan *niobium* (bukan *titanium*).

d. Tipe 316

Pada tipe ini ada penambahan unsur *molibdenum* 2% – 3% sehingga memberikan perlindungan terhadap korosi, baik di gunakan pada peralatan yang berhubungan dengan air laut. Penambahan *nikel* sebesar 12% tetap mempertahankan struktur *austenitic*.

e. Tipe 317

Mirip dengan tipe 316, namun ada penambahan lebih pada unsur/element *molybdenum* sebesar 3% – 4%, memberikan peningkatan ketika berhubungan langsung dengan air laut pada suhu / *temperature* dingin.

f. Moly

Lebih dikenal dengan istilah UNS S31254, merupakan jenis yang memiliki ketahanan tinggi terhadap air laut karena tingginya kadar *chromium* dan *molibdenum*.

g. L Grade

Memiliki kandungan *carbon* rendah (316L) dibatasi antara 0,03% – 0,035%, hal ini akan menyebabkan pengurangan kekuatan tarik.

4. Kelompok *Stainless Steel Duplex*

Merupakan kelompok terbaru yang memiliki keseimbangan *chromium*, *nikel*, *molibdenum* dan Nitrogen pada campuran yang sama antara kelompok *austenite* dan kelompok *ferit*. Hasilnya adalah sebuah kekuatan yang tinggi, sangat tahan terhadap korosi. Direkomendasikan pada suhu -50 sampai dengan +300 ° C. Biasanya di sebut uNS, sebagai merk dagang.

Beberapa tipe dari *Stainless Steel Duplex* antara lain adalah:

a. UNS S31803

Ini merupakan kelas tipe *duplex* yang paling banyak di gunakan. Komposisinya adalah: 0,03% maksimum *carbon*, 22% *chrome*, 5,5% *nikel* dan 0,15 *Nitrogen*.

b. UNS S32750

Tipe *duplex* yang rendah menurut sifat mirip dengan tipe 316, tapi dua kali lipat kekuatan tarik-nya. Komposisinya adalah : 0,03% *carbon*, 23% *chrome*, 4% *nikel* dan 0,1% adalah *nitrogen*.

c. UNS S32750

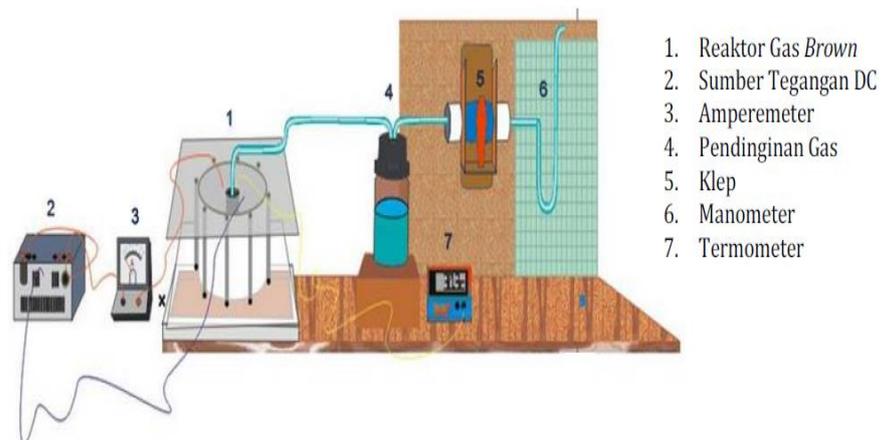
Ini merupakan tipe super untuk kelompok *duplex*, ketahanan terhadap korosi yang meningkat. Komposisi dari type ini adalah: 0,03% maksimum *carbon*, 25% *chrome*, 7% *nikel*, 4% *molibdenum* dan 0,028 nitrogen.

Elemen-elemen ini bereaksi dengan oksigen yang ada di air dan udara membentuk sebuah lapisan yang sangat tipis dan stabil yang mengandung produk

dari proses karat/korosi yaitu metal oksida dan hidroksida. Krom, bereaksi dengan oksigen, memegang peranan penting dalam pembentukan lapisan korosi ini. Pada kenyataannya, semua stainless steel mengandung paling sedikit 10% krom.

2.7 Teknologi HHO

Teknologi HHO atau juga dikenal dengan nama *Oxyhydrogen* adalah teknologi yang sengaja dibuat menjadi teknologi open source tanpa paten. Strategi ini dipilih oleh sang penemu (*Yull Brown*) karena niat tulus untuk membantu menyelamatkan bumi dari polusi yang tidak terkendali sekaligus membantu warga dunia untuk mendapatkan bahan bakar murah dan mudah didapat.



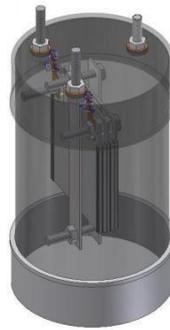
Gambar 2. Teknologi HHO

(Sumber : Chandra Silaen dan Djoko Sungkono Kawano. 2014. Optimalisasi Generator HHO Tipe Wet Cell Dimensi 160x160 mm & 120x120 mm Dengan Penambahan Digital Pulse Width Modulation Dan Netral Plat)

Dari proses elektrolisa air ini menghasilkan gas Hidrogen (H_2) dan Oksigen (O_2). Gas hidrogen (H_2) adalah gas yang sangat mudah terbakar. Sehingga jika H_2 tersebut disalurkan ke dalam ruang pembakaran akan mensuplai energi yang besar untuk mobil.

Hidrogen dan Oksigen ini dimasukkan ke dalam ruang bakar, maka “ledakan”-nya akan semakin kuat, dan hasil pembakaran menjadi semakin bersih karena Bensin yang tidak terbakar akan terbakar habis. Sehingga dapat menghemat BBM, dan tenaga yang dihasilkan lebih besar. Dalam hal ini, H_2O air yang digunakan adalah Air RO atau *Reverse Osmosis* (air murni hasil penyulingan yang menggunakan membran), atau air yang tidak mengandung mineral.

Aplikasi dari Teknologi HHO ini adalah genset diesel atau generator HHO. Generator gas HHO tersusun atas 2 komponen dasar, yaitu tabung yang terdiri atas tabung, sepasang elektroda dan elektrolit dan sumber tenaganya yang berupa baterai ataupun aki.



Gambar 3. *Generator HHO*

(Sumber : Risano, A. Yudi Eka. 2013. Pengaruh jumlah sel dalam *Hydrogen Generator* terhadap penghematan bahan bakar)

Cara Kerja *Generator HHO*

Arus listrik mengalir dari battery menuju sel di dalam tabung elektrolisis, aliran arus listrik tersebut mengalir melalui air di antara celah pelat positif dan negatif, aliran arus listrik tersebut menghasilkan gelembung-gelembung gas yang berupa gas hidrogen dan oksigen, pada pelat positif terbentuk gelembung gas oksigen dan pada pelat negatif terbentuk gelembung gas hidrogen. Gas yang dihasilkan dari proses elektrolisis air, kemudian dialirkan menuju tabung bubbler, pada tabung bubbler yang berisi air akan terbentuk gelembung-gelembung gas, gas tersebut, kemudian dialirkan menuju saringan udara atau pada intake manifold pada motor bakar. Generator ini bekerja dengan prinsip elektrolisa air.

1. Tipe kering (*dry tipe/dry cell*)

Adalah generator HHO dimana sebagian elektrodanya tidak terendam elektrolit dan elektrolit hanya mengisi celah-celah antara elektroda itu sendiri.

Keuntungan generator HHO tipe *dry cell* adalah :

- Air yang di elektrolisa hanya seperlunya, yaitu hanya air yang terjebak diantara lempengan cell.

- Panas yang ditimbulkan relative kecil, karena selalu terjadi sirkulasi antara air panas dan air dingin di reservoir.
- Arus listrik yang digunakan relatif lebih kecil, karena daya yang terkonversi menjadi panas semakin sedikit.

2. Tipe Basah (*wet cell*)

Adalah generator HHO dimana semua elektrodanya terendam cairan elektrolit di dalam sebuah bejana air. Pada tipe *wet cell* atau tipe basah, semua area luasan elektroda platnya terendam air untuk proses elektrolisis menghasilkan gas HHO. Sehingga luasan elektrolisis tersebut sama dengan luasan setiap plat yang digunakan yaitu berdimensi 80 mm x 80 mm.

Keuntungan generator gas HHO tipe *wet cell* adalah :

- Gas yang dihasilkan umumnya lebih banyak dan stabil.
- Perawatan generator lebih mudah,
- Rancang bangun pembuatan generator HHO lebih mudah.

2.8 Gas 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.

Hidrogen adalah unsur paling melimpah dengan persentase kira-kira 75% dari total massa unsur alam semesta. Senyawa hidrogen relatif langka dan jarang dijumpai secara alami di bumi, dan biasanya dihasilkan secara industri dari berbagai senyawa hidrokarbon seperti metana. Unsur ini ditemukan dalam kelimpahan yang besar di bintang-bintang dan planet-planet gas raksasa. Di seluruh alam semesta ini, hidrogen kebanyakan ditemukan dalam keadaan atomik dan plasma yang sifatnya berbeda dengan molekul hidrogen. Sebagai plasma, elektron hidrogen dan proton terikat bersama, dan menghasilkan konduktivitas elektrik yang sangat tinggi dan daya pancar yang tinggi (menghasilkan cahaya dari matahari dan bintang lain).

- 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 4. Sifat Fisik Gas Hidrogen

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

(Sumber; <http://id.wikipedia.org/wiki/Hidrogen>,2013)

2.9 Bahan Penyekat

Bahan penyekat adalah suatu bahan yang digunakan dengan tujuan agar dapat memisahkan bagian-bagian yang bertegangan atau bagian-bagian yang aktif antara satu dengan yang lain. Sehingga untuk bahan penyekat ini perlu diperhatikan mengenai sifat-sifat dari bahan tersebut, seperti : sifat listrik, sifat mekanis, sifat termal, ketahanan terhadap bahan kimia, dan lain-lain.(Jefry Saputra, 2012)

a. Sifat Listrik

Yaitu suatu bahan yang mempunyai tahanan jenis listrik yang besar agar dapat mencegah terjadinya rambatan atau kebocoran arus listrik antara hantaran yang berbeda tegangan atau dengan tanah. Karena pada kenyataannya sering terjadi kebocoran, makaharus dibatasi sampai sekecil-kecilnya agar tidak melebihi batas yang ditentukan oleh peraturan yang berlaku (PUIL : peraturan umum instalasi listrik).

b. Sifat Mekanis

Mengingat sangat luasnya pemakaian bahan penyekat, maka perlu dipertimbangkan kekuatannya supaya dapat dibatasi hal-hal penyebab kerusakan karena akibat salah pemakaian. Misal memerlukan bahan yang tahan terhadap

tarikan, maka dipilih bahan dari kain bukan dari kertas karena kain lebih kuat daripada kertas.

c. Sifat Termis

Panas yang timbul pada bahan akibat arus listrik atau arus gaya magnet berpengaruh kepada penyekat termasuk pengaruh panas dari luar sekitarnya. Apabila panas yang terjadi cukup tinggi, maka diperlukan pemakaian penyekat yang tepat agar panas tersebut tidak merusak penyekatnya.

d. Sifat Kimia

Akibat panas yang cukup tinggi dapat mengubah susunan kimianya, begitu pula kelembaban udara atau basah disekitarnya. Apabila kelembaban dan keadaan basah tidak dapat dihindari, maka harus memilih bahan penyekat yang tahan air, termasuk juga kemungkinan adanya pengaruh zat-zat yang merusak seperti : gas, asam, garam, alkali, dan sebagainya.

2.9.1 Bentuk Bahan Penyekat

Bentuk penyekat menyerupai dengan bentuk benda pada umumnya, yaitu : padat, cair, dan gas sesuai dengan kebutuhannya.

a. Penyekat bentuk padat

Beberapa macam penyekat bentuk padat sesuai dengan asalnya, diantaranya

1. Bahan tambang, seperti : batua pualam, asbes, mika, mekanit, mikafolium, mikalek, dan sebagainya.
2. Bahan berserat, seperti : benang, kain, (tekstil), kertas, prespan, kayu, dll.
3. Gelas dan keramik
4. Plastik
5. Karet, bakelit, ebonit, dan sebagainya.
6. Bahan -bahan lain yang dipadatkan

b. Penyekat bentuk cair

Penyekat dalam bentuk cair ini yang paling banyak digunakan adalah minyak transformator dan macam-macam minyak hasil bumi.

c. Penyekat bentuk gas

Penyekat dalam bentuk gas ini dapat dikelompokkan ke dalam : udara dan gas –gas lain, seperti : Nitrogen, Hidrogen dan Karbondioksida (CO₂), dan lain-lain.

2.9.2 Pembagian Kelas Bahan Penyekat

Berdasarkan suhu maksimum yang diizinkan, maka bahan penyekat listrik dapat dibagi menjadi beberapa kelas seperti pada tabel 5 :

Tabel 5. Suhu Maksimum Bahan Penyekat yang diizinkan

Kelas	Maksimum temperatur (°C)
Y	90
E	120
B	130
A	150
F	155
H	180
C	180 ke atas

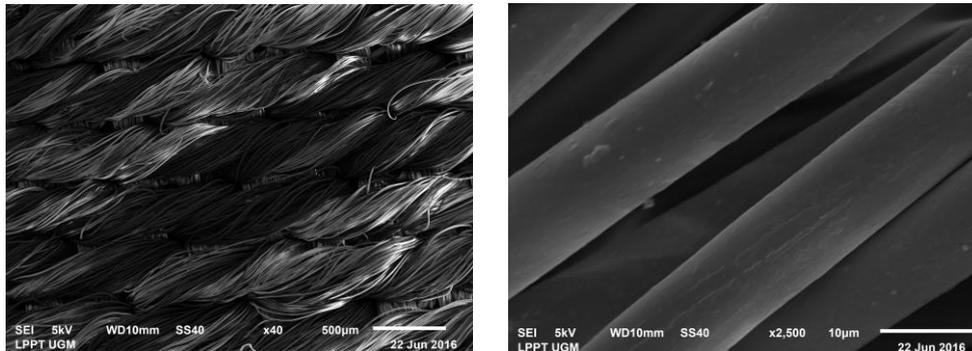
(Sumber : www.scribd.com/bahandasarpenyekat)

a. Kelas Y

Yang termasuk dalam kelas ini adalah bahan berserat organis (seperti kertas, karton, katun, sutera, dan sebagainya) yang tidak dicelup dalam bahan pernis atau bahan pencelup lainnya. Termasuk juga bahan termoplastik yang dapat lunak pada suhu rendah.

b. Kelas A

Yaitu bahan berserat dari kelas Y yang telah dicelup dalam pernis atau kompon atau yang terendam dalam cairan dielektrikum (seperti penyekat fiber pada transformator yang terendam minyak). Bahan -bahan ini adalah katun, sutera, dan kertas yang telah dicelup, termasuk kawat email (enamel) yang terlapis damar-oleo dan daman polyamide.



Gambar 4. Penampang Pori Kain Katun penyekat Gas
(Sumber : LPPT UGM SEM Analysis, 2016)

c. Kelas E

Yaitu bahan penyekat kawat enamel yang memakai bahan pengikat polyvinylformal, polyurethane dan damar epoxy dan bahan pengikat lain sejenis dengan bahan selulosa, pertinaks dan tekstolit, film triacetate, film dan serat polyethylene terephthalate.

d. Kelas B

Yaitu bahan bukan organik (seperti : mika, gelas, fiber, asbes) yang dicelup atau direkat menjadi satu dengan pernis atau kompon, dan biasanya tahan panas (dengan dasar minyak pengering, bitumin sirlak, bakelit, dan sebagainya).

e. Kelas F

Yaitu bahan bukan organik yang dicelup atau direkat menjadi satu dengan eposide, polyurethane atau pernis lain yang tahan panas tinggi.

f. Kelas H

Yaitu semua bahan komposisi bahan dasar mika, asbes dan gelas fiber dicelup dalam silikon dan tidak mengandung sesuatu bahan organis seperti kertas, katun dll.

g. Kelas C

Yaitu bahan bukan organik yang tidak dicelup dan tidak terikat dengan zat organik, seperti : mika, mikanit, yang tahan panas (menggunakan bahan pengikat bukan organik), mikalek, gelas dan bahan keramik. Hanya satu bahan organis saja yang termasuk kelas C yaitu polytetrafluoroethylene (teflon).

2.10 Menghitung Jumlah Gas pada Proses Elektrolisis

2.10.1 Teori Hukum Faraday

Dalam sel volta maupun sel elektrolisis terdapat hubungan kuantitatif antara jumlah zat yang bereaksi dan muatan listrik yang terlibat dalam reaksi redoks.

Hukum I Faraday menyatakan bahwa Massa zat yang dihasilkan pada suatu elektrode selama proses elektrolisis berbanding lurus dengan muatan listrik yang digunakan. Besarnya muatan listrik yang terjadi dalam sel merupakan hasil kali antara kuat arus yang dialirkan dengan lamanya waktu elektrolisis. Pernyataan ini merupakan prinsip dasar Hukum Faraday yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Dalam sel Elektrokimia, massa yang diendapkan pada suatu elektroda sebanding dengan besarnya muatan listrik (aliran elektron) yang terlibat dalam suatu sel.
2. Massa ekuivalen zat yang diendapkan pada elektrode akan setara dengan muatan listrik yang dialirkan ke dalam sel

Secara Aljabar Hukum faraday I dapat di formulasikan sebagai berikut :

$$W = \frac{e \ i \ t}{F} \quad \dots(\text{Pers 2})$$

Dimana :

W = massa zat, gram

e = massa ekuivalen / (M/ valensi)

i = kuat arus (ampere)

t = waktu (detik)

F = Tetapan Faraday (96500 Coulomb)

(Sumber : Hiskia Achmad, 2001)

Muatan 1 mol elektron sama dengan $6.02 \times 10^{23} \times 1.6021 \times 10^{-19}$ atau sama dengan 96500 Coulomb. Dimana, muatan listrik sebesar 96500 Coulomb disebut faraday.

2.10.2 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 :

$$PV = nRT \quad \dots \text{Pers 3}$$

Sehingga,

$$\frac{P_1 \times v_1}{P_2 \times v_2} = \frac{n R T_1}{n R T_2} \quad \dots \text{Pers 4}$$

Menjadi ;

$$v_2 = \frac{P_1 \times v_1 \times T_1}{P_2 \times T_1} \quad \dots \text{Pers 5}$$

Dimana :

$$P = \text{Tekanan Tabung Penampung Gas (atm)}$$

v_1	= Volume Awal (liter)
v_2	= Volume Akhir (liter)
n	= Mol gas H_2
R	= Konstanta Gas $0,082 \text{ L}\cdot\text{atm}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$
T	= Suhu (K)

(Sumber : Hougen, 1960)

2.11 Menghitung Efisiensi

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

2.11.1 Efisiensi Generator HHO

Efisiensi merupakan perbandingan antara energi yang berguna dengan energi yang diberikan pada suatu sistem. Pada Generator HHO , hasil yang berguna adalah produk elektrolisis air berupa gas HHO yang didapatkan pada reaksi penguraian air (H_2O).



(Sumber : Hiskia Achmad, 2001)

Reaksi Endoterm yang menghasilkan energi entalpi yang dibutuhkan untuk memecah molekul H_2O menjadi H_2 dan O_2 bernilai positif (+). Energi entalpi yang dihasilkan adalah $+285.84 \text{ kJ/mol}$.

$$\% \text{ Efisiensi Alat} = \frac{\text{Energi Teoritis yang digunakan}}{\text{Energi Aktual yang digunakan}} \times 100 \% \quad \dots \text{Pers 6}$$

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

2.11.2 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (sering disingkat SFC) menyatakan laju konsumsi bahan bakar pada suatu generator / motor bakar, yang pada umumnya dinyatakan dalam jumlah massa bahan bakar per satuan keluaran daya. Specific Fuel Consumption, disingkat SFC, membandingkan rasio bahan bakar yang digunakan oleh mesin dengan kekuatan tertentu seperti jumlah tenaga yang dihasilkan mesin. SFC memungkinkan setiap mesin dari beberapa

ukuran yang berbeda untuk dibandingkan guna melihat mana yang paling efisien bahan bakarnya. Itu memungkinkan perusahaan untuk melihat mana mesin yang akan menggunakan sedikit bahan bakar disamping tetap menghasilkan jumlah tenaga yang tinggi. Semakin rendah nilai SFC maka semakin rendah pula konsumsi bahan bakar yang digunakan.

$$\text{SFC} = \frac{\text{Energi yang digunakan untuk proses elektrolisis}}{\text{massa gas hidrogen yang dihasilkan}} \quad \dots\text{Pers 8}$$

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