

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Elektrolisis

Istilah elektrolisis berasal dari bahasa Yunani yaitu *Electro* yang berarti peristiwa listrik dan *lysis* yang berarti terurai. Pada elektrolisis oleh energi listrik zat – zat dapat terurai (Hiskia Ahmad, 2001). Alat tempat berkangsungnya elektrolisis disebut sel elektrolisis. Dalam sel ini :

- a. Elektroda adalah pengantar tempat listrik masuk ke dalam dan keluar dari zat – zat yang bereaksi.
- b. Perpindahan elektron antara elektroda dan zat – zat dalam sel menghasilkan reaksi terjadi pada permukaan elektroda.
- c. Zat – zat yang dapat di elektrolisis adalah leburan ion dan larutan yang mengandung ion terlarut.

Ada beberapa hal dari elektrolisis yang mirip dengan sel elektrolisis yaitu:

- a. Elektrolit adalah zat dalam sel yang menghantarkan listrik. Dalam elektrolit muatan listrik diangkut oleh ion yang bergerak.
- b. Pada elektroda terjadi proses oksidasi disebut anoda dan proses reduksi disebut katoda.
- c. Ion negatif atau anion membawa muatan ke anoda, dan ion positif atau kation membawa muatan ke katoda.

2.2 Sel Elektrolisis

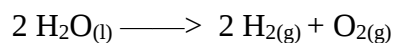
Elektrolisis adalah penguraian suatu elektrolit oleh arus listrik. Pada sel elektrolisis, reaksi kimia akan terjadi jika arus listrik dialirkan melalui larutan elektrolit, yaitu energi listrik (arus listrik) diubah menjadi energi kimia (reaksi redoks). Tiga ciri utama, yaitu:

- a. Ada larutan elektrolit yang mengandung ion bebas. Ion-ion ini dapat memberikan atau menerima elektron sehingga elektron dapat mengalir melalui larutan.

- b. Ada sumber arus listrik dari luar, seperti baterai yang mengalirkan arus listrik searah (DC).
- c. 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:

a. Penggunaan katalisator Katalisator

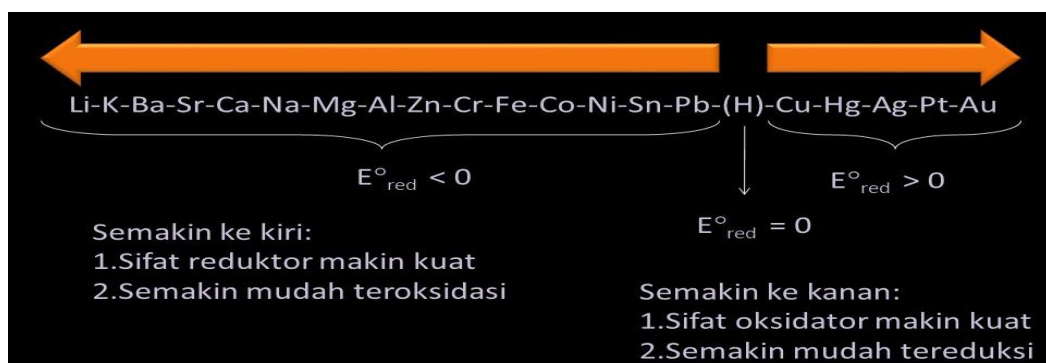
Misalnya H_2SO_4 , KOH dan NaOH berfungsi mempermudah proses penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen karena ion-ion katalisator mampu mempengaruhi kesetabilan molekul air menjadi menjadi ion H dan OH^- yang lebih mudah di elektrolisis karena terjadi penurunan energi pengaktifan.

b. 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

c. Sifat logam bahan elektroda

Penggunaan medan listrik pada logam dapat menyebabkan seluruh elektron bebas bergerak dalam metal, sejajar, dan berlaawanan arah dengan arah medan listrik. Ukuran dari kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Jika suatu beda potensial listrik ditempatkan pada ujung-ujung sebuah konduktor, muatan-muatan bergeraknya akan berpindah, menghasilkan arus listrik. Konduktivitas listrik didefinisikan sebagai ratio rapat arus terhadap kuat medan listrik. Konduktivitas listrik dapat dilihat pada deret *volta* berikut :



Gambar 1. Deret *Volta*

(Sumber : <http://slideplayer.info/slide/4109181/>)

Semakin ke kanan maka semakin besar massa jenisnya. Dalam hal ini logam stainless steel paling sering digunakan karena kromium memiliki peran untuk mencegah proses korosi (pengkaratan logam).

d. Konsentrasi Perekasi

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.

2.3 Elektrolisis Elektrolit Asam dan Basa

Elektrolisis 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 hidroksida (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

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.

Elektrolit asam, di anoda : $\text{H}_2\text{O} \rightarrow 1/2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$

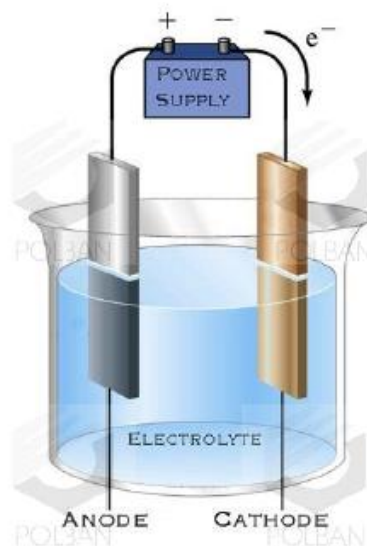
Di katoda : $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$

Total : $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + 1/2 \text{O}_2$

Elektrolit basa, di anoda : $\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$

Di katoda : $2\text{OH}^- \rightarrow 1/2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$

Total : $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + 1/2 \text{O}_2$



Gambar 2. Elektrolisis Elektrolit Asam dan Basa

(Sumber : <http://digilib.polban.ac.id/files/disk1/71/jbptppolban-gdl-jamalikhoi-3519-3-bab2-8.pdf>)

Gas hidrogen dan oksigen yang dihasilkan dari reaksi ini membentuk gelembung pada elektroda dapat dikumpulkan. Prinsip ini kemudian dimanfaatkan untuk menghasilkan hidrogen yang dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan hidrogen. Dengan penyediaan energi 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 memecahkan molekul-molekul air menjadi gas.

Elektrolisis satu mol air menghasilkan satu mol gas hidrogen dan setengah mol gas oksigen dalam bentuk diatomik. Sebuah analisis yang rinci dari proses memanfaatkan potensi termodinamika dan hukum pertama termodinamika. Proses ini berada di 298 K dan satu tekanan atmosfer dan nilai-nilai yang relevan yang diambil dari tabel sifat termodinamika.

2.4 Air

Air adalah senyawa yang penting bagi semua bentuk kehidupan yang diketahui sampai saat ini di bumi, tetapi di planet lain. Air menutupi hampir 71 % permukaan bumi. 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.

Tabel 1. Ketetapan Fisik Air

Parameter	0°	20°	50°	100°
Massa jenis (g/cm ³)	0.99987	0.99823	0.9981	0.9584
Panas jenis (kal/g °C)	1.0074	0.9988	0.9985	1.0069
Kalor uap (kal/g)	597.3	586.0	569.0	539.0
Konduktivitas termal (kal/cm s °C)	1.39×10^{-3}	1.40×10^{-3}	1.52×10^{-3}	1.63×10^{-3}
Tegangan permukaan (dyne/cm)	75.64	72.75	67.91	58.80
Laju viskositas (g/cm s)	178.34×10^{-4}	100.9×10^{-4}	54.9×10^{-4}	28.4×10^{-4}
Tetapan dielektrik	87.825	80.8	69.725	55.355

(sumber : <https://id.wikipedia.org/wiki/Air>, 2015)

Alasan mengapa hidrogen berkaitan dengan oksigen berikatan dengan oksigen membentuk fase berkeadaan cair, adalah karena lebih bersifat elektromagnetif ketimbang elemen-elemen lain tersebut (kecuali *thor*). Tarikan atom oksigen pada elektron-elektron ikatan jauh lebih kuat daripada yang dilakukan oleh atom hidrogen, meninggalkan jumlah muatan negatif pada atom oksigen.

Adanya muatan pada 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.

2.5 Hidrogen

Hidrogen merupakan unsur pertama dalam tabel periodik. Dalam kondisi normal, hidrogen merupakan gas yang tidak berbau dan tidak berwarna yang dibentuk oleh molekul diatomik, H_2 . Atom hidrogen, simbol H, dibentuk oleh inti dengan satu unit muatan positif dan satu elektron. Nomor atom hidrogen adalah 1 dan berat atom 1,00797 g/mol.

Hidrogen merupakan salah satu unsur utama dalam air dan semua bahan organik serta tersebar luas tidak hanya di bumi tetapi juga di seluruh alam semesta. Terdapat tiga isotop hidrogen yaitu protium, massa 1, ditemukan di lebih dari 99,985% unsur alami; deuterium, massa 2, ditemukan di alam sekira 0,015%; dan tritium, massa 3, yang muncul dalam jumlah kecil di alam, tetapi dapat diproduksi secara artifisial oleh berbagai reaksi nuklir. Hidrogen memiliki berat molekul 2,01594 g. Dalam bentuk gas, hidrogen memiliki kerapatan 0,071 g/l pada 0 °C dan 1 atm. Hidrogen diatomik (H_2) merupakan molekul terkecil, dengan keseluruhan molekul sekitar dua kali panjang ikatnya ($0.74 \text{ \AA} = 0,074 \text{ nm}$). Hidrogen adalah unsur yang paling mudah terbakar dari semua zat yang dikenal.

Di bumi, hidrogen paling banyak ditemukan di dalam air, H_2O . Hanya ada sedikit yang ditemukan di bumi dalam wujud unsur bebasnya (dalam bentuk H_2), karena massanya yang sangat ringan sehingga sulit tertarik gravitasi bumi dan terlepas ke luar angkasa.

2.6 Elektrolit

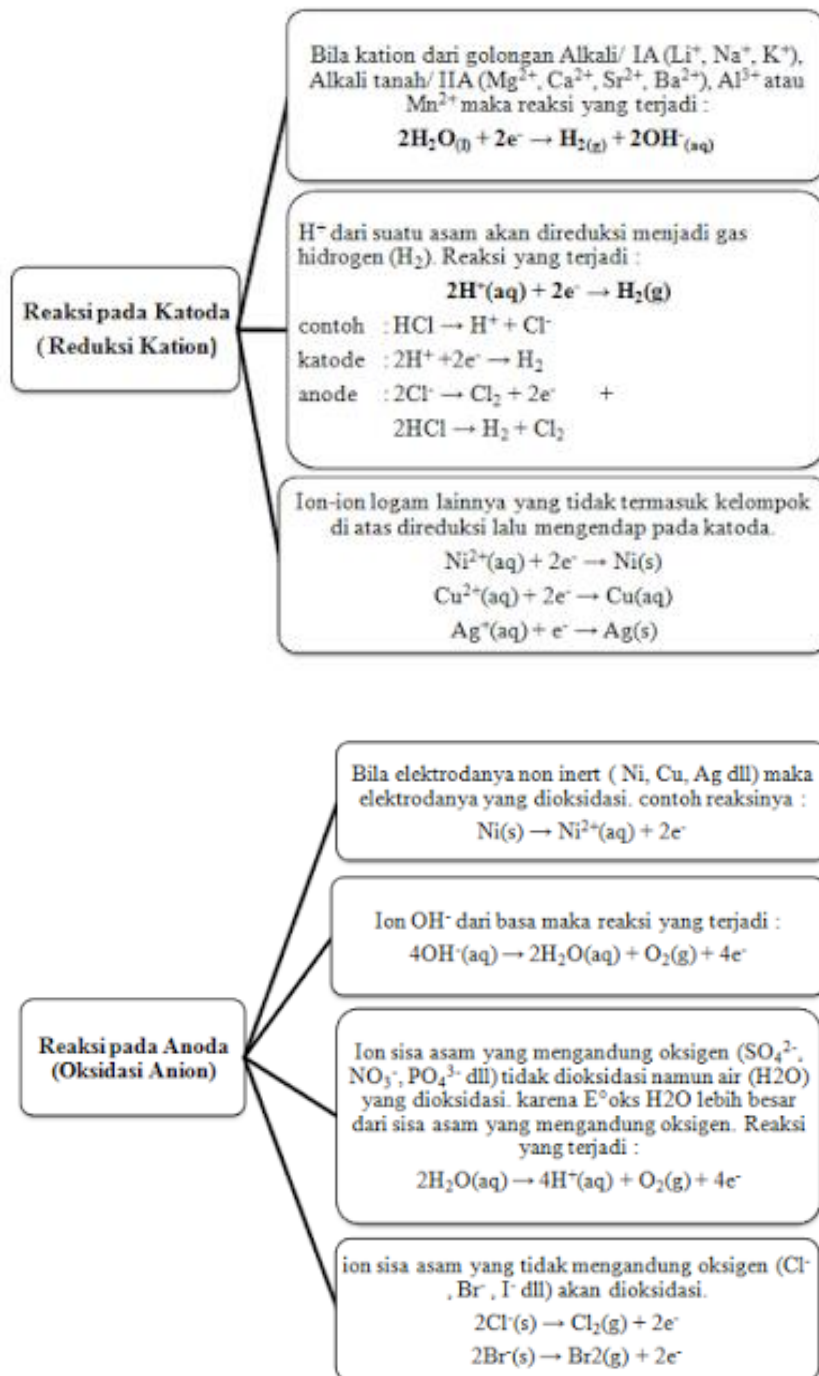
Elektrolit adalah suatu zat yang larut atau terurai ke dalam bentuk ion-ion dan selanjutnya larutan menjadi konduktor elektrik, ion-ion merupakan atom – atom bermuatan elektrik. Elektrolit bisa berupa air, asam, basa atau berupa senyawa

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 elektroda dengan muatan yang berlawanan, melalui cara ini arus listrik akan mengalir dan ion bertindak sebagai penghantar, sehingga dapat menghantarkan arus listrik.

Berdasarkan jenis elektrolitnya, reaksi pada elektrolisis dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu elektrolisis dengan elektrolit larutan dan elektrolisis dengan elektrolit lelehan.

1. Elektrolisis Dengan Elektrolit Larutan

Larutan elektrolit diperoleh dengan cara melarutkan padatan elektrolit di dalam air. Zat yang dapat mengalami reaksi redoks bukan hanya kation dan anionnya, tetapi juga pelarutnya (H_2O). Dengan demikian, terjadi kompetisi antara ion-ion dan molekul H_2O . Pemenang kompetisi bergantung pada harga potensial standar sel (E°), jenis elektrode, dan jenis anion. Semakin besar nilai E° , semakin mudah reaksi induksi terjadi. Untuk memudahkan penulisan reaksi kimia pada elektrolisis dengan elektrolit larutan, gunakan diagram alir berikut.



Gambar 3. Reaksi pada katoda dan anoda

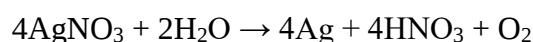
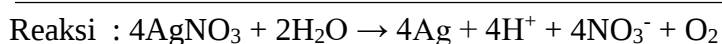
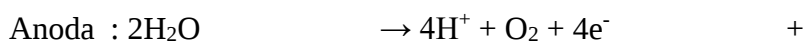
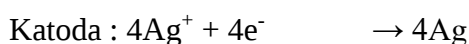
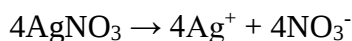
(Sumber : <http://ratnandroet.blogspot.co.id/2015/06/elektrokimia.html>)

2. Elektrolisis Dengan Elektrolit Lelehan

Lelehan elektrolit diperoleh dengan cara memanaskan padatan elektrolit tanpa melibatkan air. Kation di katode akan direduksi, sedangkan anion di anode akan

dioksidasi. Elektroda yang digunakan merupakan elektroda inert (tidak akan bereaksi) seperti platina atau grafit. Sebagai contoh :

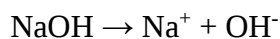
Elektrolisis larutan AgNO_3 dengan elektroda Pt



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 (Pangganti, 2016). Sebagai contoh elektrolisis larutan NaOH dengan elektroda Pt, reaksinya:



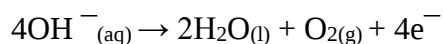
a. Reaksi pada katoda (reduksi terhadap kation)

Ion – ion logam alkali, alkali tanah, dan ion – ion logam yang memiliki E° lebih kecil dari -0,83 volt tidak direduksi dari larutan. Yang direduksi adalah pelarut (air) dan terbentuk gas hidrogen (H_2)

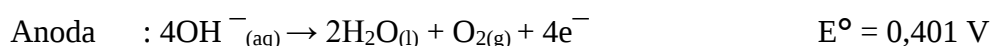
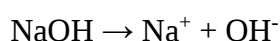


b. Reaksi pada anoda (oksidasi terhadap anion)

Ion OH^- dari basa dioksidasi menjadi gas oksigen (O_2)



Secara lengkap reaksi elektrolisis dengan menggunakan elektrolit NaOH sebagai berikut:



(<http://esdikimia.wordpress.com>, diakses 7 April 2014)

2. 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 H_2S .

3. 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.

Tabel 2. Sifat Daya Hantar Listrik dalam Larutan

Jenis Larutan	Sifat dan Pengamatan lain	Contoh Senyawa	Reaksi Ionisasi
Elektrolit Kuat	- Terionisasi Sempurna	NaCl, NaOH, H_2SO_4 , HCL, dan KCL	$NaCl \rightarrow Na^+ + Cl^-$
	-Menghantarkan Arus listrik		$NaOH \rightarrow Na^+ + OH^-$
	- Lampu menyala terang		$H_2SO_4 \rightarrow H^+ + SO_4^{2-}$
	- Terdapat gelembung gas		$HCl \rightarrow H^+ + Cl^-$ $KCl \rightarrow K^+ + Cl^-$
Elektrolit Lemah	- Terionisasi sebagian	CH_3COOH , N_4OH , HCN dan $Al(OH)_3$	$CH_3COOH \rightarrow H^+ + CH_3COOH^-$
	- Menghantarkan arus listrik		$HCN \rightarrow H^+ + CN^-$
Non Elektrolit	- Lampu menyala redup	$C_6H_{12}O_6$, $C_{12}H_{22}O_{11}$, $CO(NH_2)_2$ dan C_2H_5OH	$Al(OH)_3 \rightarrow Al^{3+} + OH^-$
	- Terdapat gelembung gas		
	-Tidak Terionisasi		$C_6H_{12}O_6$
	- Tidak menghantarkan arus Listrik		$C_{12}H_{22}O_{11}$
	- Lampu tidak menyala		$CO(NH_2)_2$
	-Tidak terdapat gelembung gas		C_2H_5OH

Sumber : <https://id.wikipedia.org/wiki/Elektrolit>

Adapun larutan yang digunakan sebagai elektrolit, yaitu:

1. Natrium hidroksida (NaOH).

NaOH adalah basa kuat, juga dikenal sebagai soda kaustik atau sodium hidroksida, adalah sejenis basa logam kaustik. Natrium Hidroksida terbentuk dari oksida basa Natrium Oksida dilarutkan dalam air. Natrium hidroksida membentuk larutan alkalin yang kuat ketika dilarutkan ke dalam air. Ia digunakan di berbagai macam bidang industri, kebanyakan digunakan sebagai basa dalam proses produksi bubur kayu dan kertas, tekstil, air minum, sabun dan deterjen.

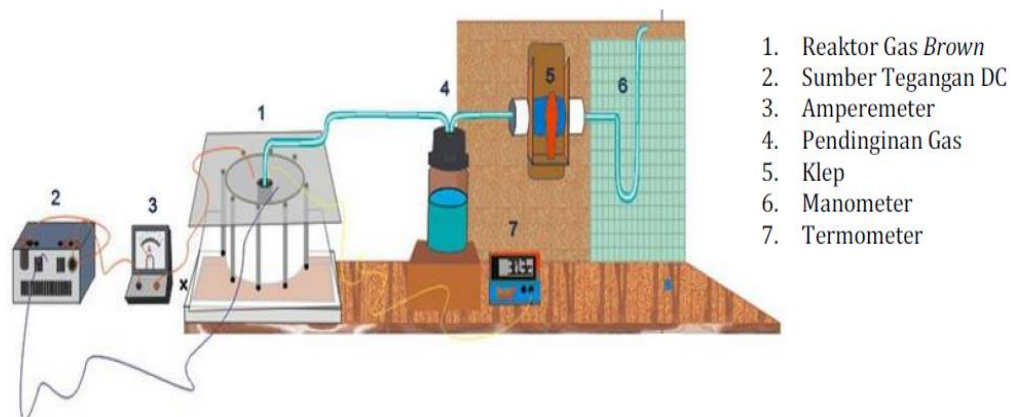
Natrium hidroksida murni berbentuk putih padat dan tersedia dalam bentuk pelet, serpihan, butiran ataupun larutan jenuh 50%. Ia bersifat lembab cair dan secara spontan menyerap karbon dioksida dari udara bebas. Ia sangat larut dalam air dan akan melepaskan panas ketika dilarutkan. Ia juga larut dalam etanol dan metanol. Ia tidak larut dalam dietil eter dan pelarut non-polar lainnya. Larutan natrium hidroksida akan meninggalkan noda kuning pada kain dan kertas. NaOH (natrium hidroksida) adalah larutan bersifat basa yang tersusun atas logam natrium dan senyawa hidroksida. larutan NaOH biasanya digunakan dalam titrasi dan reaksi kesetimbangan. selain itu juga dapat digunakan sebagai penghantar arus listrik dalam elektro kimia.

2. Kalium Hidroksida (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 H_2 dan O_2 di dalam senyawa air sehingga H_2 dan O_2 semakin banyak. (Sumber : Arbi Marwan Putra, 2010)

2.7 Teknologi *HHO*

Istilah *Hydroxy* mengacu pada produksi ***Oxyhydrogen*** yang dihasilkan dari proses elektrolisis. Hidroksi adalah campuran gas Hidrogen (H_2) dan gas Oksigen (O_2) yang biasanya dalam rasio 2:1 molar, proporsi yang sama seperti air..



Gambar 4. Desain Teknologi *HHO*

(Sumber : Chandra Silaen dan Djoko Sungkono Kawano. 2014)

Dari proses elektrolisa air akan 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.

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. 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 (Chandra Silaen dan Djoko Sungkono Kawano. 2014).

2.7.1 Reaktor *HHO*

Reaktor *HHO* tersusun atas 2 komponen dasar, yaitu tabung yang terdiri atas tabung, sepasang elektroda dan elektrolit dan sumber tenaganya yang berupa baterai ataupun aki. Reaktor *HHO* ini bekerja dengan prinsip elektrolisa air (Chandra Silaen dan Djoko Sungkono Kawano. 2014).

Ada 2 metode yang sering digunakan pada proses elektrolisis:

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

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

Keuntungan reaktor *HHO* tipe *dry cell* adalah :

- a. Air yang di elektrolisa hanya seperlunya, yaitu hanya air yang terjebak diantara lempengan cell.
- b. Panas yang ditimbulkan relative kecil, karena selalu terjadi sirkulasi antara air panas dan air dingin di *reservoir*.
- c. 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* (Chandra Silaen dan Djoko Sungkono Kawano. 2014).

Keuntungan *generator HHO* tipe *wet cell* adalah :

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

2.8 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 dalam sel elektrokimia dapat disebut sebagai anoda atau katoda, kata-kata yang juga diciptakan oleh Faraday. Anoda ini didefinisikan sebagai elektroda di mana elektron datang dari sel elektrokimia dan oksidasi terjadi, dan katoda didefinisikan sebagai elektroda di mana elektron memasuki sel elektrokimia

dan reduksi terjadi. Setiap elektroda dapat menjadi sebuah anode atau katode tergantung dari tegangan listrik yang diberikan ke sel elektrokimia tersebut.

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)

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).

2.8.1 *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.

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.

2.8.1.1 NPS & Pipa Schedule

Pipa *schedule* merupakan pipa standard ASTM dimana ukuran pipa memakai istilah NPS dan ketebalan pipa memakai istilah schedule. Nominal Pipe Size (NPS) adalah ukuran standar Amerika untuk pipa yang digunakan pada tekanan dan temperatur tingkat tinggi atau rendah. Ukuran pipa tersebut adalah dua angka dalam satuan inchi dan schedule (SCH) untuk menentukan ketebalan pipa dalam satuan inchi atau milimeter. Sedangkan di Eropa, ukuran pipa tersebut menggunakan istilah Diameter Nominal (DN) dalam satuan millimeter.

Nominal pipe size (NPS) tidak selalu sama dengan diameter luar (OD/outer diameter), yaitu: Untuk NPS $\frac{1}{8}$ inchi sampai dengan 12 inchi, nilai NPS dan OD adalah berbeda. Contoh: Pipa NPS 12, ternyata diameter luarnya adalah 12,75 inchi. Untuk NPS 14 inchi dan ke atas, nilai NPS dan OD adalah sama. Contoh: pipa NPS 14, diameter luarnya 14 inchi.

Schedule pipa ini dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. *Schedule* 5, 10 , 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 160 (makin besar nomor *schedule*, makin tebal pipanya).
2. *Schedule standard*
3. *Schedule extra strong* (XS)
4. *Schedule double extra Strong* (XXS)
5. *Schedule special*

Berhubung ukuran diameter luar (OD) pipa adalah tetap (standar), maka diameter dalam (ID/inside diameter) pipa tergantung dari *schedule* pipa yang dipilih. Misalnya: pipa NPS 12 (diameter luar 12,75 inchi atau 323,85 mm) dengan sch 10 (tebal 0,180 inchi atau 4,572mm) dan sch 20 (tebal 0,250 inchi atau 6,350 mm), maka diameter dalam (ID) pipa NPS 12 pada kedua *schedule* tersebut adalah berbeda. Ukuran diameter luar dan ketebalan/*schedule* dapat dilihat pada tabel referensi ASTM (*American Society of Testing Materials*).

Perbedaan-perbedaan *schedule* ini dibuat guna :

1. Menahan internal *pressure* dari aliran
2. Kekuatan dari material itu sendiri (Strength of material)
3. Mengatasi karat
4. Mengatasi kegetasan pipa.

2.8.1.2 Pipa *Stainless Steel* (*Schedule, Ornament/Decoratif dan Sanitary*)

Pipa *schedule stainless steel* memiliki permukaan yang masih kasar dan aplikasinya untuk industri, pabrik. Ketebalan (Sch) pipa *stainless steel* untuk NPS $\frac{1}{8}$ inchi sampai dengan 12 inchi adalah Sch/5S, Sch/10S, Sch/40S, Sch/80S (ANSI/ASME 36.19M). Huruf S setelah angka menunjukkan *Stainless steel*. Karena ketebalan pipa *stainless steel* *Schedule* yang lumayan tebal, cukup berat dan

permukaan kasar, sehingga kurang cocok dipakai sebagai pipa untuk aliran uap panas pada distilator minyak atsiri skala kecil.

Pipa *stainless steel Ornament* atau *Decoratif* memiliki permukaan yang halus, mengkilap dan cantik; merupakan pipa yang digunakan untuk dekoratif arsitektur, perabot rumah tangga, konstruksi pagar/gerbang, pegangan tangga dan sebagainya. Harga pipa ini jauh lebih murah dibanding harga pipa stainless steel schedule. Pipa dekoratif kurang cocok dipakai sebagai pipa aliran uap panas pada distilator skala kecil karena pertimbangan ketahanan korosi kurang dan fungsi pipa itu sendiri.



Gambar 5. Pipa *Stainless Steel*

Pipa *Sanitary stainless steel* memiliki permukaan yang halus, mengkilap dan cantik, merupakan pipa yang dibuat khusus untuk pengolahan makanan dan minuman sesuai standar dari IAFP (*International Association for Food Protection*), oleh karena itu grade pipa sanitary ini adalah SS-304 (SS-304L) dan SS-316 (SS-316L). Aplikasinya untuk pengolahan susu, bir, anggur, minuman, makanan, farmasi, kosmetik dan industri lainnya yang menuntut kesehatan (*hygiene*) tingkat tinggi. Harga pipa sanitary ss lumayan mahal dibandingkan dengan pipa schedule ss. Pipa sanitary ss ini yang digunakan sebagai pipa aliran uap panas pada alat suling (distilator) minyak atsiri skala kecil



Gambar 6. Pipa *Sanitary*

2.9 Bahan Penyekat

Bahan penyekat atau sering disebut dengan istilah *isolasi* adalah suatu bahan yang digunakan dengan tujuan agar dapat memisahkan bagian – bagian yang bertegangan atau bagian – bagian yang aktif. Sehingga untuk bahan penyekat ini perlu diperhatikan mengenai sifat – sifat dari bahan tersebut yang meliputi : sifat listrik, sifat mekanis, sifat termal, ketahanan terhadap bahan kimia dan lain – lain.

Bahan penyekat digunakan untuk memisahkan bagian – bagian yang beregangan. Untuk itu pemakaian bahan penyekat perlu mempertimbangkan sifat kelistrikannya. Disamping itu juga perlu mempertimbangkan sifat – sifat bahan penyekat tersebut.

Sifat kelistrikan mencakup resistivitas, permitivitas, dan kerugian dielektrik. Penyekat membutuhkan bahan yang mempunyai resistivitas yang besar agar arus yang bocor sekecil mungkin (dapat diabaikan). Yang perlu diperhatikan disini adalah bahwa bahan isolasi yang higroskopis hendaknya dipertimbangkan penggunaannya pada tempat – tempat yang lembab karena resistivitasnya akan turun. Resistivitas juga akan turun jika tegangan yang diberikan naik.

Besarnya kapasitansi bahan isolasi yang berfungsi sebagai dielektrik ditentukan oleh permitivitasnya, disamping jarak dan luas permukaannya. Besarnya permitivitas udara adalah 1,00059, sedangkan untuk zat padat dan zat cair selalu lebih besar dari itu. Apabila bahan isolasi diberi tegangan bolak – balik maka akan terdapat energi yang diserap oleh bahan tersebut. Besarnya kerugian energi yang diserap bahan isolasi tersebut berbanding lurus dengan tegangan, frekuensi,

kapasitansi, dan sudut kerugian dielektrik. Sudut tersebut terletak antara arus kapasitif dan arus total ($I_c + I_r$).

Suhu juga berpengaruh terhadap kekuatan mekanis, kekerasan, viskositas, ketahanan terhadap pengaruh kimia dan sebagainya. Bahan isolasi dapat rusak diakibatkan oleh panas pada kurun waktu tertentu. Waktu tersebut disebut umur panas bahan isolasi. Sedangkan kemampuan bahan menahan suhu tertentu tanpa terjadi kerusakan disebut *ketahanann panas*. Menurut IEC (*International Electrotechnical Commission*) didasarkan atas batas suhu kerja bahan, bahan isolasi yang digunakan pada suhu dibawah nol (misal pada pesawat terbang, pegunungan) perlu juga diperhitungkan karena pada suhu dibawah nol bahan isolasi akan menjadi keras dan regas.

2.9.1 Sifat – Sifat Bahan Penyekat

Ada beberapa sifat bahan penyekat yang perlu kita ketahui sebagai dasar pemahaman kita tentang bahan penyekat. Sifat – sifat tersebut meliputi sifat listrik, sifat mekanis, sifat termis dan sifat kimia.

a. Sifat Listrik

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, maka harus 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

Bahan penyekat listrik dapat dibagi atas beberapa kelas berdasarkan suhu kerja maksimum. Klasifikasi bahan isolasi menurut IEC adalah seperti berikut.

1. Kelas Y

Kelas Y terdiri dari katun, sutera alam wol sintetis, rayon, serat poliamid, kertas, prespan, kayu, poliakrit, polietilin, polivinil, karet.

2. Kelas A

Kelas A terdiri dari bahan berserat dari kelas Y yang telah dicelup dalam vernis, aspal, minyak trafo, email yang dicampur vernis dan poliamid.

3. Kelas E

Kelas E terdiri dari penyekat kawat email yang memakai bahan pengikat polivinil formal, poli urethan dan damar epoksi dan bahan pengikat lain semacam itu dengan bahan pengisi selulose, pertinaks dan tekstolit, film triasetat, filem serat polietilin tereftalat.

4. Kelas B

Kelas B terdiri dari bahan nonorganik (mika, gelas, fiber, asbes) dicelup atau direkat menjadi satu dengan pernis atau konpon, bitumen, sirlak, bakelit dan sebagainya.

5. Kelas F

Kelas F terdiri dari bahan bukan organik dicelup dan direkat menjadi satu dengan epoksi, poliurethan, atau vernis yang tahan panas tinggi.

6. Kelas H

Kelas H terdiri dari semua bahan komposisi dengan bahan dasar mika, asbes dan gelas fiber yang dicelup dalam silikon tanpa campuran bahan berserat (kertas, katun, dan sebagainya). Dalam kelas ini termasuk juga karet silikon dan email kawat poliamid murni.

7. Kelas C

Kelas C terdiri dari bahan anorganik yang tidak dicelup dan tidak diikat dengan substansi organik, misalnya mika, mekanit yang tahan panas (menggunakan bahan pengikat anorganik), mikaleks, gelas, dan bahan keramik. Hanya satu bahan organik saja yang termasuk kelas C yaitu polietra flouroetilin (teflon).

Tabel 4. Pembagian kelas bahan Penyekat

Kelas	Suhu kerja maksimum (°C)	Kelas	Suhu kerja maksimum (°C)
Y	90	F	155
A	105	H	180
E	120	C	>180
B	130		

(Sumber : <https://id.scribd.com/doc/100114243/Bahan-Dasar-Listrik-Bahan-Penyekat>)

2.9.2 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:

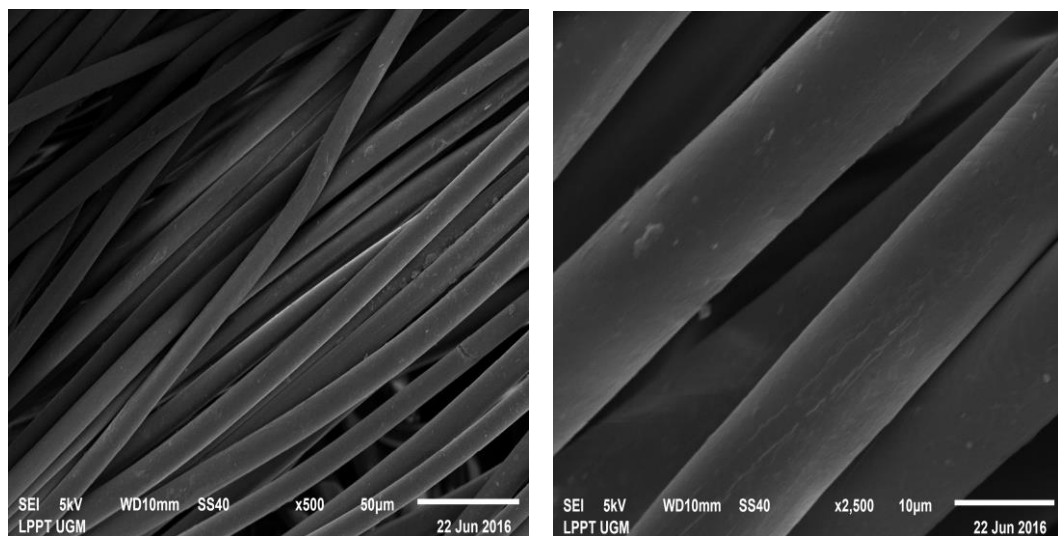
1. Bahan tambang, seperti : batu pualam, asbes, mika, mekanit, mikafolium, mikalek, dan sebagainya.
2. Bahan berserat, seperti : benang, kain, (tekstil), kertas, prespan, kayu, dll.
3. Gelas dan keramik
4. Plastik
5. Karet, bakelit, ebonit, dan sebagainya.
6. Bahan -bahan lain yang dipadatkan.

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 Karbon dioksida (CO_2), dan lain – lain.



Gambar 7. Analisis pembesaran ukuran bahan penyekat katun dengan SEM
(Sumber: LPPT UGM, 2016)

2.10 Menghitung Jumlah Gas yang dihasilkan pada Proses Elektrolisis

a. Teori Hukum Faraday

Jumlah zat yang dihasilkan dalam proses elektrolisis akan mengikuti hukum faraday. Michael Faraday merangkum hasil pengamatannya dalam dua hukum pada tahun 1833, yang berisi:

1. Massa zat yang terbentuk pada masing – masing elektroda sebanding dengan muatan listrik yang mengalir pada elektrolisis tersebut.
2. Massa dari macam – macam zat yang diendapkan pada masing – masing elektroda (terbentuk pada masing – masing elektroda) oleh sejumlah arus listrik yang sama banyaknya akan sebanding dengan berat ekuivalen masing – masing zat tersebut.

Secara aljabar hukum faraday I dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$W = \frac{e \cdot i \cdot t}{F}$$

...Pers 1

(Sumber : Hiskia Achmad, 2001)

dimana :

W = massa zat (gram)

e = massa ekilvalen (M/valensi)

i = kuat arus (ampere)

t = Tetapan Faraday (96500 Coloumb)

b. 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. Persamaan gas ideal dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$PV = nRT$$

$$\frac{P_1 \times v_1}{P_2 \times v_2} = \frac{n R T_1}{n R T_2}$$

(Hukum Boyle)

Sehingga;

$$v_2 = \frac{P_1 \times v_1 \times T_1}{P_2 \times T_2}$$

... Pers. 2

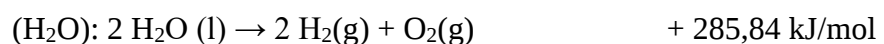
(Sumber : Hougen, 1959)

Keterangan:

- P = tekanan (atm)
 v₁ = Volume Awal (liter)
 v₂ = Volume Akhir (liter)
 n = mol gas H₂
 R = Konstanta Gas 0,082 L atm/K mol
 T = suhu (K)

c. Menghitung Efisiensi

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.



(Sumber : Chandra Silaen dan Djoko Sungkono Kawano. 2014)

Reaksi endoterm yang menghasilkan energi entalpi yang dibutuhkan untuk memecah molekul H₂O menjadi H₂ dan O₂ bernilai positif (+). Energi entalpi yang dihasilkan adalah: $\Delta h = + 285,84 \text{ kJ/mol}$.

$$\% \text{ Efisiensi alat} = \frac{\text{energi teoritis yang digunakan}}{\text{energi aktual yang digunakan}} \times 100\%$$

...Pers. 3

(Sumber : Chandra Silaen dan Djoko Sungkono Kawano. 2014)

$$\% \text{ Efisiensi alat} = \frac{n \times \Delta H_f}{W} \times 100\%$$

...Pers. 4

(Sumber : Chandra Silaen dan Djoko Sungkono Kawano. 2014)

Keterangan:

n = Jumlah mol secara teoritis

ΔH_f = + 285,84 kJ/mol

W = energi aktual yang digunakan