

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Elektrolisis

Elektrolisis adalah peristiwa penguraian elektrolit dalam sel elektrolisis oleh arus listrik. Dalam sel *volta/galvani*, reaksi oksidasi reduksi berlangsung dengan spontan, dan energi kimia yang menyertai reaksi kimia diubah menjadi energi listrik. Sedangkan elektrolisis merupakan reaksi kebalikan dari sel *volta/galvani* yang potensial selnya negatif.

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. H₂O dapat diuraikan dengan menggunakan listrik dalam sel elektrolisis. Proses ini akan mengurai air menjadi unsur-unsur pembentuknya. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



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 elektroda) dan kutub positif sumber arus tentunya mengarah pada katoda (sebab memerlukan elektron) dan kutub positif sumber arus tentunya mengarah pada katoda. 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 :

1. Penggunaan Katalisator

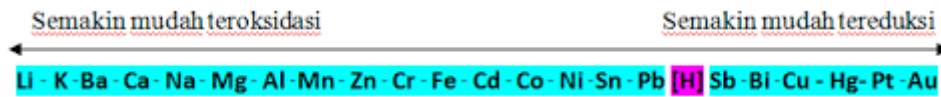
Misalnya H_2SO_4 dan KOH berfungsi mempermudah proses penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen karena ion-ion katalisator mampu mempengaruhi kestabilan molekul air menjadi ion H^+ dan OH^- yang lebih mudah di elektrolisis karena terjadi penurunan energi pengaktifan. Zat tersebut tidak mengalami perubahan yang kekal (tidak dikonsumsi dalam proses elektrolisis). Penggunaan asam sulfat sebagai katalis dalam proses elektrolisis menjadi pilihan utama dibandingkan KOH . Karena asam sulfat melepaskan H^+ yang memudahkan membentuk gas hidrogen. Sedangkan KOH melepaskan OH^- yang menghambat pembentukan gas hidrogen.

2. Luas Permukaan Tercelup

Semakin besar luas yang menyentuh elektroda maka semakin suatu elektrolit untuk mentransfer elektronnya. Sehingga terjadi hubungan sebanding jika luasan yang tercelup sedikit maka semakin mempersulit elektrolit untuk melepaskan elektron 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. Ukuran dari kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Jika suatu beda potensial listrik ditempatkan pada ujung-ujung sebuah konduktor, muatan-muatan bergerak 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 : “Amirabagya”, n.d)

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).

4. 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 elektron dapat lebih cepat meng-elektrolisis elektrolit dan didapat ditarik garis lurus bahwa terjadi hubungan sebanding terhadap prosentase katalis dengan transfer elektron.

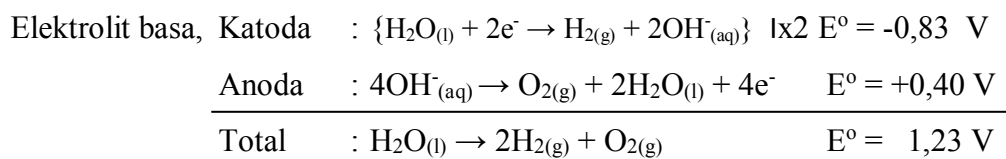
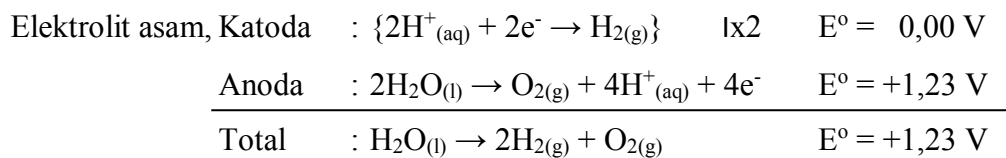
Pada katode, dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron, tereduksi menjadi gas H_2 dan ion hidroksida (OH^-). Sementara itu pada anode, dua molekul air lain terurai menjadi gas oksigen (O_2), melepaskan 4 ion H^+ serta mengalirkan elektron ke katode. Ion H^+ dan OH^- mengalami netralisasi sehingga terbentuk kembali beberapa molekul air.

Faktor yang mempengaruhi elektrolisis air :

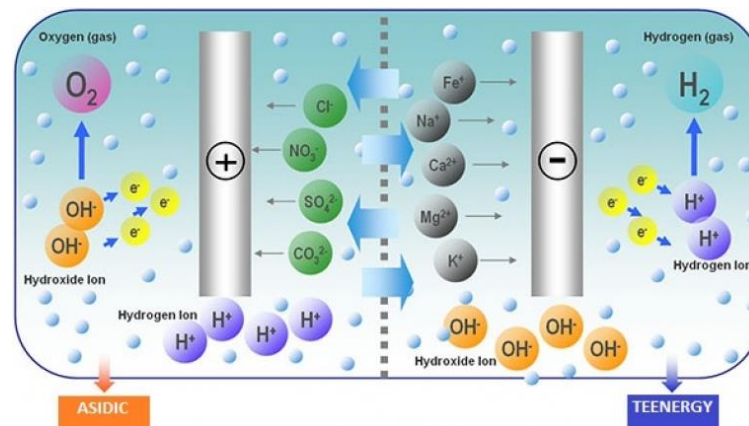
- a. Kualitas Elektrolit
- b. Suhu
- c. Tekanan
- d. Resistansi Elektrolit
- e. Material dari elektroda
- f. Material pemisah

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.



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 hidrogen. Dengan penyediaan energi dari baterai, Air (H_2O) dapat dipisahkan ke dalam molekul diatomik hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2).



Gambar 2. Proses Elektrolisis pada Larutan Asam
(Sumber :Electrolysis, 2016)

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.

2.1.1 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.

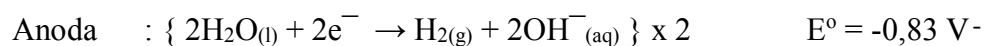
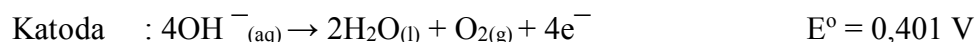
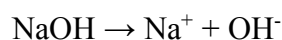
Berdasarkan daya hantarnya larutan elektrolit terbagi menjadi tiga, yaitu :

1. Larutan elektrolit kuat

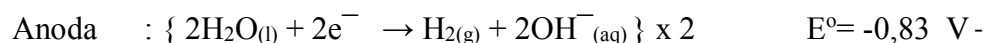
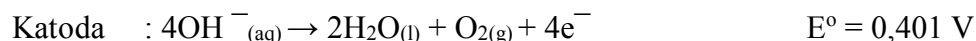
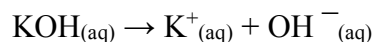
Larutan elektrolit kuat adalah larutan yang banyak menghasilkan ion – ion karena terurai sempurna, maka harga derajat ionisasi (α) = 1. Beberapa elektrolit seperti kalium klorida, natrium hidroksida, natrium nitrat terionisasi sempurna menjadi ion-ionnya dalam larutan. Elektrolit yang terionisasi sempurna 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 (Pangganti, 2016) :

a. Elektrolisis larutan NaOH dengan elektroda Pt, reaksinya :



b. Elektrolisis larutan KOH dengan elektroda Pt, reaksinya :



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 :

- a. Asam–asam lemah
- b. Garam–garam yang sukar larut
- c. 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.

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. Larutan yang tergolong non elektrolit adalah larutan urea, larutan sukrosa, larutan glukosa, alkohol dan lain–lain.

Adapun larutan yang digunakan, yaitu :

1. 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 (Putra, 2010).

2. Larutan NaOH

Natrium hidroksida (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. 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 %, bersifat lembab cair dan secara spontan menyerap karbon dioksida dari udara bebas, sangat larut dalam air dan akan melepaskan panas ketika dilarutkan. Natrium hidroksida juga larut dalam etanol dan metanol. Namun, 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 (Adi & Budiardhana, 2013).

2.1.2 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. Air sering disebut sebagai “pelarut *universal*” karena air melarutkan banyak zat kimia. Berikut ini adalah beberapa parameter tetapan fisik air, yaitu :

Tabel 1. Ketetapan Fisik Air

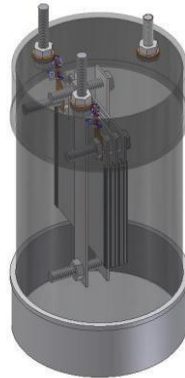
Parameter	Nilai
Rumus Molekul	H ₂ O
Massa Molar	18,02 gram/mol
Volume Molar	55,5 mol/liter
Densitas	Liquid 0,998 g/cm ³ , solid 0,92 g/cm ³
Titik Leleh	0 °C (273 K) (32 °F)
Titik Didih	100 °C (373,15 K) (212 °F)
Titik Beku	0 °C pada 1 atm
Kalor Jenis	4186 J/kg K

(Sumber : Air, 2016)

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⁻). Alasan mengapa hidrogen 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 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.

2.2 Generator HHO

Generator 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, 2013)

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 *bubler*, pada tabung *bubler* yang berisi air akan terbentuk gelembung-gelembung gas, gas tersebut, kemudian dialirkan menuju saringan udara atau pada *intake manifold* pada motor bakar. *Generator HHO* ini bekerja dengan prinsip elektrolisa air.

a. 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 :

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

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

b. 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 HHO* tipe *wet cell* adalah :

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

2.2.1 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 katoda sedangkan elektroda negatif (-) adalah anoda (Svehla, 1985). Anode ini didefinisikan sebagai elektroda di mana elektron datang dari sel elektrokimia dan oksidasi terjadi, dan katode didefinisikan sebagai elektroda di mana elektron memasuki sel elektrokimia dan reduksi terjadi. Reaksi kimia yang terjadi pada elektroda selama terjadinya konduksi listrik disebut elektrolisis dan alat yang digunakan untuk reaksi ini disebut sel elektrolisis (Brady, 1999).

2.2.2 *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). Komposisi ini membentuk *protective layer* (lapisan pelindung anti korosi) yang merupakan hasil oksidasi oksigen terhadap Krom yang terjadi secara spontan. Kemampuan tahan karat diperoleh dari terbentuknya lapisan film *oksida Kromium*, dimana lapisan oksida ini menghalangi proses oksidasi besi (*Ferum*).



Gambar 4. Stainless Steel
(Wasito, June 22, 2012)

A. Kandungan Atom/Unsur dan Ikatannya

Baja *stainless* merupakan baja paduan yang mengandung minimal 10,5 % *Cr*. Sedikit baja *stainless* mengandung lebih dari 30 % *Cr* atau kurang dari 50 % *Fe*. Daya tahan *Stainless Steel* terhadap oksidasi yang tinggi di udara dalam suhu lingkungan biasanya dicapai karena adanya tambahan minimal 13 % (dari berat) Krom. Krom membentuk sebuah lapisan tidak aktif, *Kromium (III) Oksida* (Cr_2O_3) ketika bertemu Oksigen. Lapisan ini terlalu tipis untuk dilihat, sehingga logamnya akan tetap berkilau. Logam ini menjadi tahan air dan udara, melindungi logam yang ada di bawah lapisan tersebut. Fenomena ini disebut *Passivation* dan dapat dilihat pada logam yang lain, seperti pada *Aluminium* dan *Titanium*. Pada dasarnya untuk membuat besi yang tahan terhadap karat, Krom merupakan salah satu bahan paduan yang paling penting. Untuk mendapatkan besi yang lebih baik lagi, diantaranya dilakukan penambahan beberapa zat-zat berikut; Penambahan *Molibdenum (Mo)* bertujuan untuk memperbaiki ketahanan korosi *pitting* di lingkungan (berkadar asam) dan korosi. Penambahan *Kromium (Cr)* bertujuan meningkatkan ketahanan korosi dengan membentuk lapisan *oksida* (Cr_2O_3) dan

ketahanan terhadap oksidasi temperatur tinggi. Penambahan *Nikel (Ni)* bertujuan untuk meningkatkan ketahanan korosi dalam media pengkorosi netral atau lemah. *Nikel* juga meningkatkan keuletan dan mampu meningkatkan ketahanan korosi tegangan. Unsur *Aluminium (Al)* meningkatkan pembentukan lapisan *oksida* pada temperatur tinggi.

B. Sifat Fisik *Stainless Steel*

Stainless steel juga dikenal dengan nama lain seperti *CRES* atau baja tahan korosi, baja *Inox*. Komponen *stainless steel* adalah Besi, Krom, Karbon, Nikel, Molibdenum dan sejumlah kecil logam lainnya. Komponen ini hadir dalam proporsi yang bervariasi dalam varietas yang berbeda. Dalam *stainless steel*, kandungan *Krom* tidak boleh kurang dari 11 %.

Beberapa sifat fisik penting dari *stainless steel* tercantum di bawah ini :

1. *Stainless steel* adalah zat keras dan kuat.
2. *Stainless steel* bukan konduktor yang baik (panas dan listrik).
3. Sebagian varietas dari *stainless steel* memiliki permeabilitas magnetis. Mereka sangat tertarik terhadap magnet.
4. Tahan terhadap korosi.
5. Tidak bisa teroksidasi dengan mudah.
6. Tahan terhadap suhu tinggi

C. Sifat Kimia *Stainless Steel*

Permukaan peralatan *stainless steel* yang mudah dibersihkan. Minimal pemeliharaan dan daur ulang total peralatan *stainless steel* juga berkontribusi terhadap popularitas mereka. *Stainless steel* adalah nama universal untuk paduan logam, yang terdiri dari Kromium dan Besi. Sering disebut juga dengan baja tahan karat karena sangat tahan terhadap noda (berkarat). Besi murni adalah unsur utama dari *stainless steel*. Besi murni adalah rentan terhadap karat dan sangat tidak stabil, seperti yang diekstraksi dari bijih besi. Karat besi adalah karena reaksi dengan oksigen, di hadapan air. *Kromium* membentuk lapisan transparan

dan pasif *kromium oksida*, yang mencegah kerusakan mekanik dan kimia. Konstituen kecil lainnya dari baja adalah Nikel, Nitrogen dan Molibdenum.

Kandungan kecil Nikel meningkatkan ketahanan korosi lebih lanjut, dan melindungi stainless steel dari penggunaan kasar dan kondisi lingkungan yang keras. Pitting atau jaringan parut dihindari dengan menambahkan Molibdenum untuk baja. Sifat kimia dan struktur baja stainless ditingkatkan menggunakan paduan lainnya. Titanium, Vanadium dan Tembaga adalah paduan yang membuat stainless steel lebih cocok untuk keperluan tertentu. Tidak hanya logam, tetapi juga non-logam seperti Nitrogen, Karbon dan Silikon yang digunakan untuk membuat *stainless steel*. Sifat kimia bertanggung jawab atas ketahanan korosi dan struktur mekanik dari baja *stainless* yang penting untuk memilih nilai sempurna untuk aplikasi yang diperlukan (Wasito, 2012).

2.2.3 Bahan – Bahan Penyekat

Bahan penyekat adalah suatu bahan yang digunakan dengan tujuan agar dapat memisahkan bagian – bagian yang bertegangan atau bagian – bagian yang aktif. 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. 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 ditunjukkan pada tabel dibawah ini :

Kelas	Maksimum temperatur (°C)
Y	90
A	105
E	120
B	130
F	155
H	180
C	>180

(Sumber : Sugesti, 2012)

Keterangan :

1. Kelas Y

Bahan yang dapat digolongkan dalam kelas Y adalah : katun, sutera alam wol sintetis, rayon, serat poliamid, kertas, prespan, kayu, poliakrit, polietilin, polivinil, karet.

2. Kelas A

Bahan yang dapat digolongkan dalam kelas A adalah : bahan berserat dari kelas Y yang telah dicelup dalam vernis, aspal, minyak trafo, email yang dicampur vernis dan poliamid.

3. Kelas E

Bahan yang dapat digolongkan dalam kelas E adalah : 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

Bahan yang dapat digolongkan dalam kelas B adalah : bahan non organik (mika, gelas, fiber, asbes) dicelup atau direkat menjadi satu dengan pernis atau konpon, bitumen, sirlak, bakelit dan sebagainya.

5. Kelas F

Bahan yang dapat digolongkan dalam kelas F adalah : bahan bukan organik dicelup dan direkat menjadi satu dengan epoksi, poliurethan, atau vernis yang tahan panas tinggi.

6. Kelas H

Bahan yang dapat digolongkan dalam kelas H adalah : 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

Bahan yang dapat digolongkan dalam kelas C adalah : bahan anorganik yang tidak dicelup dan tidak diikat dengan substansi organik, misalnya mika, mikanit 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).

2.3 *Flashback Arrestor*

Flashback arrestor adalah alat pengaman gas yang paling umum digunakan dalam pengelasan dengan gas *oxy-fuel* dan memotong/menghentikan jalur api atau mencegah aliran balik gas yang masuk kembali ke dalam tabung gas sehingga mencegah pengguna dan peralatan dari kerusakan atau ledakan. Pekerjaan dengan penggunaan tabung gas silinder harus dilengkapi dengan *flashback arrestor*. *Flashback arrestor* sendiri berfungsi untuk menghalau api untuk kembali masuk kedalam silinder. Hal ini berperan penting untuk mengurangi potensi peledakan pada tabung gas silinder.

2.4 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. Dengan massa atom 1,00794, hidrogen adalah unsur teringan di dunia. 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. Di seluruh alam semesta ini, hidrogen kebanyakan ditemukan dalam keadaan atomik dan plasma yang sifatnya berbeda sebagai berikut :

Tabel 3. Sifat Fisik Gas Hidrogen

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

(Sumber : Hydrogen, 2015)

Hidrogen juga dapat dihasilkan dari air melalui proses elektrolisis. Hidrogen atau H_2 mempunyai kandungan energi per satuan berat tertinggi, dibandingkan dengan bahan bakar manapun.

Pembakaran hidrogen dapat menghasilkan kalor sebanyak 286 kJ per mol hidrogen. Pada tabel dibawah ini dapat dibandingkan kalor yang dihasilkan oleh hidrogen dengan kalor yang dihasilkan oleh bahan bakar lain,

Tabel 4. Perbandingan Kalor

Bahan Bakar	Kalor yang dihasilkan		
	Per Gram	Per mol	Per liter
Gas Hidrogen	143	286	12
Hidrogen Cair	142	285	9970
Gas Metan	55	882	36
LPG	50	2220	25600
Oktan Cair	48	5512	3400

(Putra, 2010)

Keuntungan jika hidrogen digunakan sebagai bahan bakar yaitu :

1. Suatu cuplikan hidrogen jika dibakar akan menghasilkan energi sebanyak kira-kira tiga kali energi yang dihasilkan bensin dengan berat yang sama.
2. Dalam mesin kendaraan bermotor hidrogen akan terbakar lebih efisien jika dibandingkan dengan bahan bakar lain.
3. Pembakaran hidrogen tidak menghasilkan polusi.
4. Mesin yang menggunakan hidrogen mudah diubah agar dapat menggunakan hidrogen sebagai bahan bakar.

2.5 Menghitung Jumlah Gas yang Dihasilkan

2.5.1 Hukum Faraday

Faraday menyatakan bahwa sel elektrolisis dapat digunakan untuk menentukan banyaknya zat yang bereaksi berdasarkan jumlah muatan listrik yang digunakan dalam rentang waktu tertentu (Sunarya, 2009).

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

Pernyataan ini merupakan prinsip dasar Hukum Faraday, yaitu :

1. Jumlah zat yang dihasilkan di electrode pada peristiwa elektrolisis sebanding dengan besarnya muatan listrik (aliran elektron) yang dialirkan selama elektrolisis berlangsung.
2. Massa ekuivalen zat yang diendapkan pada electrode akan setara jika muatan listrik yang dialirkan ke dalam sel sama.

Berdasarkan hasil penyelidikan *Millikan* (model tetes minyak), diketahui bahwa muatan elektron: $e = 1,60218 \times 10^{-19}$ C. Oleh karena itu, muatan listrik yang terjadi jika satu mol elektron ditransfer adalah $= (6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}) \times (1,60218 \times 10^{-19} \text{ C}) = 96.500 \text{ C mol}^{-1}$ (Sunarya, 2009).

Nilai muatan listrik untuk satu mol elektron ditetapkan sebesar satu faraday, dilambangkan dengan F , yaitu :

$$F = 96.500 \text{ C mol}^{-1} \quad \dots\text{Pers 2}$$

Arus listrik sebesar i ampere yang mengalir selama t detik menghasilkan muatan listrik: $= i \times t$ coulomb. Dalam satuan Faraday, besarnya muatan listrik (Q) tersebut adalah sebagai berikut :

$$Q = \frac{i \times t}{96500} \quad \dots\text{Pers 3}$$

Berdasarkan pers 2, untuk mencari gas hasil elektrolisis maka :

$$\text{mol gas} = \frac{1}{\text{Jumlah elektron}} \times F \quad \dots\text{Pers 4}$$

Keterangan :

- F = Faraday (1 Faraday = mol e^-)
- i = kuat arus (ampere)
- t = waktu (detik)

2.5.2 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.

Gas ideal dapat diformulasikan sebagai berikut (Gas_Ideal, 2016) :

$$PV = nRT$$

...Pers 5

2.6 Menghitung Effisiensi Kinerja Alat

Effisiensi merupakan perbandingan antara energi yang berguna terhadap energi yang diberikan pada suatu sistem. Pada generator HHO, hasil yang berguna adalah produk elektrolisis dari air berupa gas HHO yang didapat pada reaksi penguraian air (H_2O). Effisiensi kinerja alat generator HHO dapat diformulasikan sebagai berikut (Silaen dan Kawano, 2014) :

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