

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Hidrogen

Hidrogen adalah unsur kimia pada tabel periodik yang memiliki simbol **H** dan nomor atom 1. Yang dalam bahasa Latin adalah *hydrogenium*, dari bahasa Yunani : *hydro*: air, *genes*: membentuk adalah gas yang tak berwarna, tak berbau, tak berasa dengan rumus kimia H₂ Gas Hidrogen sangat mudah terbakar dan akan terbakar pada konsentrasi serendah 4% H₂ di udara bebas. Entapi pembakaran hidrogen adalah -286 kJ/mol. Hidrogen terbakar menurut persamaan kimia :



Hidrogen merupakan elemen paling melimpah di bumi namun sangat jarang ditemukan dalam bentuk H₂. Karena hidrogen di bumi sangat jarang ditemukan dalam bentuk H₂, maka dilakukanlah produksi hidrogen untuk mencukupi kebutuhan hidrogen dunia. Pada prinsipnya, hidrogen bisa diperoleh dengan memecah senyawa yang paling banyak mengandung unsur hidrogen. Karakteristik gas hidrogen dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel. 2. 1 Karakteristik Gas Hidrogen

Karakteristik	Keterangan
Kepadatan (15°C) 1 bar	0,085 kg/cm ³
Titik didih pada 1.013 bar	-252,9 °C
Titi pengapian	560 °C
Tingkat pembakaran	8,99 m/s
Nilai Kalori 0 °C, 1,013 bar	10790 KJ/ m ³
Konsentrasi ledakan campuran dengan udara	4,1% menjadi 75%
Konsentrasi ledakan campuran degan oksigen	4,5% menjadi 95%

sumber: Laporan Akhir. PROTOTYPE HYDROGEN FUEL GENERATOR (Aplikasin Pemanfaatan Gas Hidrogen Pada Elektrolisis sebagai Bahan Bakar Las). Haynurnissa Yusparanin (2016)

2.2. Metode Pemisahan Hidrogen

Ada beberapa metode pembuatan gas hidrogen yang telah dikenal. Namunn semua metode tersebut prinsipnya sama, yaitu memisahkan hidrogen dari unsur

lain dalam senyawanya. Setiap metode memiliki keunggulan dan kekurangan, tetapi secara umum parameter yang dapat dipertimbangan dalam memilih metode pembuaran H₂ adalah biaya, kelayakan secara ekonomi, skala produksi dan bahan baku serta yang terpenting adalah emisi yang dihasilkan, Berikut merupakan beberapa metode pembuatan H₂:

1. Steam Reforming

Pada proses ini terjadi dua tahapan pembentukan yakni reaksi pemisahan H₂ dan pemurnian H₂. Pada reaksi pemisahan H₂, gas alam seperti metana, propana ataupun etana di reaksikan dengan steam (uap air) pada suhu 700-1000 °C dengan bantuan katalis sehingga menghasilkan hidrogen (H₂), Karbin dioksida (CO₂), dan karbon monoksida (CO) dengan persamaan reaksi yang terjadi adalah:



Selanjutnya hasil reaksi tersebut memasuki proses pemisahan dimana hidrogen dan karbon dioksida dipisahkan dengan cara penyerapan karbon dioksida. Proses steam reforming telah banyak dilakukan dalam proses produksi secara komersil. Namun, metode produksi ini sangat tergantung pada ketersediaan gas dialam serta limbah CO₂ sebagai efek rumah kaca.

2. Gasifikasi Biomassa

Jika pada metode steam reforming menggunakan gas-gas yang telah disediakan oleh alam, pada metode ini gas tersebut terlebih dahulu dihasilkan melalui proses gasifikasi bahan-bahan alam seperti jerami, kotoran sapi dan sebagainya. Pada metode ini terlebih dahulu bahan alam tersebut dipanaskan pada suhu tinggi pada sebuah reaktor (950-1000 °C) hingga menghasilkan gas campuran yang terdiri dari hidrogen, karbon monoksida, dan metana.

Sepeti proses pada steam reforming, metana hasil gasifikasi ini kemudian di pisahkan dari hidrogen dengan mereaksikannya dengan steam dan selanjutnya dipisahkan antara hidrogen dan karbon dioksida dan karbon monoksida. Keuntungan dari metode ini bahan baku gas metana tidak

tergantung pada ketersediaan gas alam melainkan ketersediaan biomassa yang melimpah di alam selain itu biaya produksi relatif lebih murah.

3. Gasifikasi Batubara

Pada metode ini proses yang di lalui sama persis seperti metode gasifikasi biomassa. Hanya saja bahan baku batu bara yang menjadi pembeda pada proses ini. Metode ini merupakan metode pembuatan gas hidrogen tertua. Selain itu polusi yang di produksi serta biaya yang dikeluarkan dapat mencapai dua kali lipat biaya pada steam reforming.

4. Elektrolisis Air

Elektrolisis merupakan proses kimia yang mengubah energi listrik menjadi energi kimia. Proses elektrolisis memisahkan molekul air menjadi gas hidrogen dan oksigen dengan cara mengalirkan arus listrik ke elektroda tempat larutan elektrolit (air dan katalis) berada. Gas hidrogen muncul dari kutub negatif (katoda) dan Oksigen dari kutub positif (anoda). Menurut Rusdianasari (2018) hidrogen yang di hasilkan pada reaksi elektrolisis ini berpotensi menghasilkan *zero emission*.

2.3. Elektrolisis

Elektrolisis merupakan proses kimia yang mengubah energi listrik menjadi energi kimia. Pertama kali dilakukan oleh William Nicholson dan Anthony Carlisle kira-kira pada tahun 1800. Proses elektrolisis memisahkan molekul air menjadi gas hidrogen dan oksigen dengan cara mengalirkan arus listrik (AC atau DC) ke elektroda tempat larutan elektrolit (air dan katalis) berada. Reaksi elektrolisis tergolong reaksi redoks tidak spontan, reaksi itu dapat berlangsung karena pengaruh energi listrik (Rusminto, 2009). Proses ini ditemukan oleh Faraday tahun 1820.

Hidrogen akan muncul di katoda, yaitu elektroda yang terhubung ke arus negatif dan oksigen di anoda, yaitu elektroda yang terhubung ke arus positif, Ion H^+ dan OH^- mengalami netralisasi sehingga terbentuk kembali beberapa molekul air. Reaksi total elektrolisis air adalah penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen.

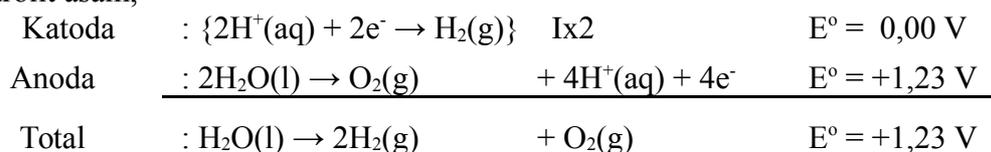
Sel elektrolisis adalah sel yang menggunakan arus listrik untuk mengubah reaksi kimia yang terjadi. Pada sel elektrolisis katoda memiliki muatan negatif

sedangkan anoda memiliki muatan positif (Harahap, 2019). Rangkaian sel elektrolisis hampir menyerupai sel volta. Yang membedakan sel elektrolisis dari sel volta adalah, pada sel elektrolisis, komponen voltmeter diganti dengan sumber arus (AC atau DC). Larutan yang ingin dielektrolisis, ditempatkan dalam suatu wadah. Selanjutnya elektroda dicelupkan ke dalam larutan elektrolit yang ingin dielektrolisis. Elektroda yang digunakan umumnya merupakan elektroda inert, seperti Grafit (C), Platina (Pt), dan Emas (Au) (G, Reza. S. 2015).

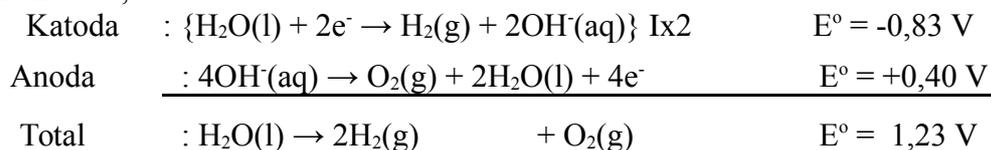
Elektroda berperan sebagai tempat berlangsungnya reaksi. Reaksi reduksi berlangsung di katoda, sedangkan reaksi oksidasi berlangsung di anoda. Kutub negatif sumber arus mengarah pada katoda (sebab memerlukan elektroda) dan kutub positif sumber arus tentunya mengarah pada katoda (sebab memerlukan elektron) 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.

Reaksi total elektrolisis air adalah penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen. Bergantung pada jenis elektrolit yang digunakan reaksi setengah sel untuk elektrolit asam atau basa dituliskan dalam dua cara yang berbeda.

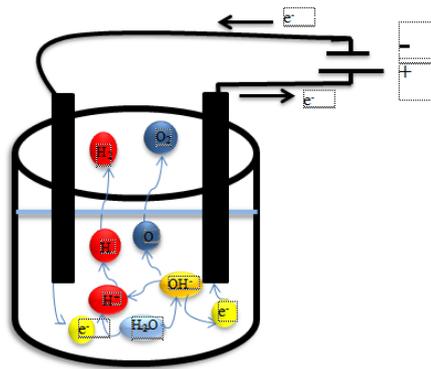
Elektrolit asam,



Elektrolit basa,



Gas hidrogen dan oksigen yang dihasilkan dari reaksi ini membentuk gelembung pada elektroda dan dapat dikumpulkan. Prinsip ini kemudian dimanfaatkan untuk menghasilkan hidrogen yang dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan hidrogen, proses elektrolisis ini ditemukan oleh Faraday tahun 1820. Proses pergerakan elektron pada proses elektrolisis dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Proses Elektrolisis Air

Elektrolisis satu mol air menghasilkan satu mol gas hidrogen dan setengah mol gas oksigen dalam bentuk diatomik, yang merupakan sebuah analisis yang rinci dari proses memanfaatkan potensi termodinamika dan hukum pertama termodinamika. Proses elektrolisis terjadi pada temperatur 298 K dan satu tekanan atmosfer dan nilai-nilai yang relevan yang diambil dari tabel sifat termodinamika.

Menurut A. Suyuty (2011) Faktor yang mempengaruhi proses elektrolisis antara lain penggunaan katalisator, luas permukaan tercelup, sifat bahan baku elektroda, konsentrasi pereaksi, dan besaran tegangan eksternal. 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

Penggunaan katalisator berfungsi untuk mempermudah proses penguraian air menjadi atom-atom penyusunya hidrogen dan oksigen karena ion katalisator mampu mempengaruhi kestabilan molekul air menjadi ion H^+ dan OH^- yang lebih mudah dielektrolisis dan tidak menggunakan konsumsi energi yang banyak atau penurunan konsumsi energi listrik untuk proses elektrolisis. Katalisator yang biasa digunakan adalah KOH dan H_2SO_4 atau juga larutan-larutan yang memiliki nilai elektrolit yang tinggi sehingga dapat membantu proses penguraian air atau elektrolisis air.

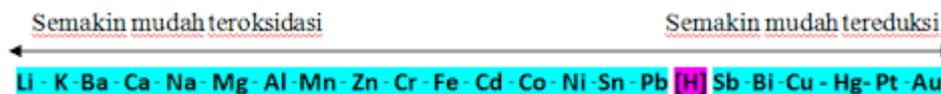
2. Luas Permukaan

Semakin besar luas yang menyentuh elektroda maka semakin suatu elektrolit untuk transfer 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 2. 2 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 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 elektron dapat lebih cepat meng-elektrolisis elektrolit dan didapat ditarik garis lurus bahwa terjadi hubungan sebanding terhadap prosentase katalis dengan transfer elektron.

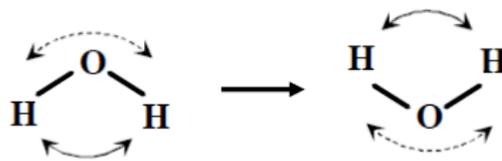
Pada katode, dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron, tereduksi menjadi gas H_2 dan ion hidroksida (OH^-). Sementara itu pada anode, dua molekul air lain terurai menjadi gas oksigen (O_2), melepaskan 4 ion H^+ serta mengalirkan elektron ke katode. Ion H^+ dan OH^- mengalami netralisasi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

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 .

2.4. Air

Air adalah ikatan dari satu molekul oksigen dan dua molekul hidrogen yang berbeda muatan yang saling tarik-menarik dan juga tolak-menolak sekaligus, ikatan tersebut yakni muatan positif yang dimiliki oleh 2 molekul H dan muatan negatif yang dimiliki sebuah molekul O. Molekul O menarik kedua molekul tersebut. Namun gaya tolak terbentuk akibat kedua molekul H yang ditarik oleh O memiliki muatan yang sama-sama positif.



Gambar 2. 3 Gaya Tarik Menarik pada Molekul Air
Sumber: Hamdan, 2009

Gerakan menarik dan menolak itu kemudian membentuk pola gerakan mengepak seperti sayap burung yang sedang terbang. Oleh gerakan ini kemudian bergerak secara kontinyu dan massal dalam kumpulan ikatan besar berupa air. Bila air mengalami gangguan baik itu berupa pemberian panas, pancaran gelombang elektromagnetik, maupun beda potensial maka molekul-molekul penyusun di dalamnya akan mengalami perubahan gerak. Oleh sebab itu air disebut sebagai cairan elektrolit.

Bila air diberi perlakuan panas maka yang terjadi adalah makin panas suhunya maka makin cepat gerakan molekul-molekul di dalamnya hingga pada suhu tertentu air tersebut kemudian lepas dan membentuk ikatan yang kecil berupa uap air. Kualitas dan kuantitas hasil uap dari perlakuan panas tersebut juga dipengaruhi oleh kualitas dan kuantitas air tersebut. Untuk itu kuantitas (jumlah) dan kualitasnya (mutunya) harus dijaga sesuai dengan kebutuhan hasil yang diinginkan. Parameter kualitas air dapat ditinjau dari tiga aspek yaitu:

1. Karakteristik Kimia

Kandungan bahan-bahan kimia yang ada di dalam air berpengaruh terhadap kesesuaian penggunaan air. Karakteristik kimia yang mempengaruhi kualitas air meliputi:

a. pH

Pengukuran sifat keasaman dan kebasaan air dinyatakan dengan nilai pH, yang didefinisikan sebagai logaritma dari pulang-baliknya konsentrasi ion hidrogen dalam moles per liter. Pengaturan nilai pH diperbolehkan sampai batas yang tidak merugikan karena efeknya terhadap rasa, korosivitas, dan efisiensi klorinitas. Beberapa senyawa asam dan basa yang bersifat toksin dalam bentuk molekul.

b. Kandungan Senyawa Kimia

Air yang baik untuk media budidaya perikanan tidak mengandung zat-zat yang berbahaya untuk kelangsungan hidup biota yang dibudidayakan. Logam berat seperti Hg (air raksa) dan Pb (timbal) merupakan zat kimia berbahaya jika masuk ke dalam air. Dengan konsentrasi rendah pun, zat kimia tersebut umumnya dapat menyebabkan kematian, terutama pada hewan air seperti ikan. Hg yang terdapat dalam bentuk ion seperti m-Hg atau metil-Hg, merupakan komponen yang berbahaya di dalam air.

c. Kesadahan

Kesadahan air disebabkan oleh banyaknya mineral dalam air yang berasal dari batuan dalam tanah, baik dalam bentuk ion maupun dalam ikatan molekul. Elemen terbesar yang terkandung dalam air adalah kalsium, magnesium, natrium, dan kalium. Kadar mineral dalam tanah bervariasi, tergantung jenis tanahnya. Kandungan mineral inilah yang menentukan parameter keasaman dan kekerasan air.

2.4.1 Salinitas

↔ Edward Jannert (dalam Kordi dan Tancung 2007:66) Salinitas adalah tingkat keasinan atau kadar garam yang terlarut dalam air. Yaitu jumlah gram garam yang ↔ terlarut untuk setiap liter larutan. Biasanya dinyatakan dalam satuan $^{\circ}/00$ (*parts*

↔

per thousand). Oleh karena itu, suatu sampel air laut yang seberat 1000 gram yang mengandung 35 gram senyawa-senyawa terlarut mempunyai salinitas 35‰.

Zat-zat yang terlarut meliputi garam-garam anorganik, senyawa-senyawa organik yang berasal dari organisme hidup dan gas-gas terlarut. Fraksi terbesar dari bahan-bahan terlarut terdiri garam-garam anorganik yang berwujud ionion (99.99%). Ion-ion yang terkandung di dalam air laut didominasi oleh ion-ion seperti klorida, karbonat, sulfat, natrium, kalium dan magnesium. Di dalam air laut mengandung bermacam-macam senyawa oksida/garam, berturut-turut: Fe₂O₃, CaCO₃, CaSO₄, MgCl₂, NaCl, MgSO₄, NaBr mengandung jumlah endapan: 0,003; 0,1172; 1,1172; 0,1532; 27,1074; 0,642; 0,2224 gram/liter (Jannert. 2018).

Pengukuran salinitas berhubungan dengan klorinitas. Klorinitas ini sudah termasuk klorida, bromida dan iodida. Menurut klasifikasi tinggi rendahnya salinitas, maka salinitas terbagi menjadi tiga bagian yaitu air tawar, air payau dan air laut dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Klasifikasi air berdasarkan salinitas

Sebutan/Istilah	Salinitas (ppt)
Air Tawar	
Fresh Water	<0.5
Oligohaline	0.5-3.0
Air Payau	
Mesohaline	3.0-16.0
Polyhaline	16.0-30.0
Air Laut	
Marine	30.0-40.

Tinggi rendahnya salinitas dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu suhu, penguapan, curah hujan, banyak sedikitnya sungai yang bermuara di laut tersebut, konsentrasi zat terlarut dan pelarut. Semakin tinggi konsentrasi suatu larutan maka semakin tinggi pula daya serap garam tersebut untuk menyerap air. Salinitas juga berpengaruh terhadap tekanan osmotik air. Semakin tinggi salinitas disuatu perairan, maka semakin besar pula tekanan osmotiknya.

Air berdasarkan sumbernya terbagi menjadi air tanah dan juga air permukaan yang masing-masing antara lain air tawar (fresh water), air asin (air laut), Air laut merupakan air yang berasal dari laut, memiliki rasa asin, dan memiliki kadar garam (salinitas) yang tinggi, dimana rata-rata air laut di lautan dunia memiliki salinitas sebesar 35. Hal ini berarti untuk setiap satu liter air laut

terdapat 35 gram-garam yang terlarut di dalamnya. Kandungan garam-garaman utama yang terdapat dalam air laut antara lain klorida (55%), natrium (31%), sulfat (8%), magnesium (4%), kalsium (1%), potasium (1%), dan sisanya (kurang dari 1%) terdiri dari bikarbonat, bromida, asam borak, strontium, dan florida, sedangkan air tawar merupakan air dengan kadar garam dibawah 0,5 ppt.

2.5. Elektrolit

Elektrolit adalah suatu zat terlarut atau terurai ke dalam bentuk ion-ion dan selanjutnya larutan menjadi konduktor 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. Umumnya, air adalah pelarut (solven) yang baik untuk senyawa ion dan mempunyai sifat menghantarkan arus listrik.

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. jika melarutkan Cl pada elektrolit maka gas yang dihasilkan tidak hanya berupa hidrogen melainkan akan muncul senyawa baru yaitu Klorin dan persamaan kimianya juga telah berubah dari sebelumnya dan reaksi yang terjadi pada anoda dapat dilihat dalam persamaan berikut: (Siregar, 2020).



Klorin yang dihasilkan selanjutnya diserap dalam larutan air dengan $\text{PH} > 3$ melalui reaksi yang ditunjukkan pada persamaan (Siregar, 2020).

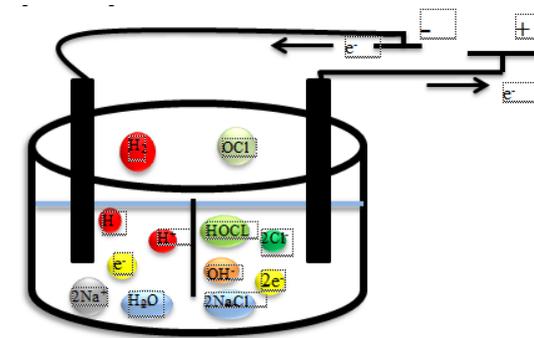


Menurut PH dari asam hipoklorit dan ion hipoklorit $\text{PH} > 7.46$ terbentuk dari persamaan sebagai berikut (Siregar, 2020).



Gas klorin yang diproduksi secara elektrokimia kemungkinan dioksidasi menjadi klorat dianoda, direduksi menjadi bentuk klorida pada sisi katoda, atau

diubah secara kimia menjadi klorat (Siregar, 2020). Adapun proses elektrolisis pada air laut dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 4 Proses Elektrolisis Pada Air Laut

2.6. Elektroda

Elektroda adalah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian atau media non-logam dari sebuah sirkuit (misal semikonduktor, elektrolit atau vakum). Elektroda adalah suatu sistem dua fase yang terdiri dari sebuah penghantar elektrolit (misalnya logam) dan sebuah penghantar ionik (larutan). Elektroda positif (+) disebut anoda sedangkan elektroda negatif (-) adalah katoda. 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.

Pada beberapa perangkat elektroda juga disebut kutub atau pelat. Elektroda baterai dipisahkan oleh larutan yang mengandung ion-ion (atom atau kelompok atom bermuatan listrik). Salah satu elektroda (elektroda negatif) mengalami reaksi kimia yang memberikan kelebihan elektron. Elektroda lainnya (elektroda positif) mengalami reaksi kimia yang menghilangkan elektron. Ketika dua elektroda dihubungkan oleh sebuah sirkuit listrik eksternal, kelebihan elektron akan mengalir dari elektroda negatif ke positif.

Elektroda dalam sel elektrokimia dapat disebut sebagai anode atau katode, kata-kata yang juga diciptakan oleh Faraday. 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. Setiap elektroda dapat menjadi sebuah anode atau katode tergantung dari tegangan listrik yang diberikan ke sel elektrokimia tersebut. Elektroda bipolar adalah elektroda yang berfungsi sebagai anode dari

sebuah sel elektrokimia dan katode bagi sel elektrokimia lainnya. Tabel nilai potensial standar beberapa elektroda dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.3 Nilai Potensial Reduksi Standar Beberapa Elektroda

Kopel (oks/red)	Reaksi katoda (reduksi)	E°, Potensial reduksi, volt (elektroda hidrogen standar = 0)
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
H ₂ O/H ₂	2H ₂ O + 2e ⁻ → H ₂ + 2OH ⁻	-0,828
Zn ²⁺ /Zn	Zn ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Zn	-0,76
Fe ²⁺ /Fe	Fe ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Fe	-0,44
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
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

(sumber: <http://perpustakaancyber.blogspot.com/2013/07/tabel-harga-potensial-elektroda-standar.html>)

2.6.1 Jenis Elektroda

Jenis-jenis elektroda terbagi menjadi empat bagian diantaranya:

1. Elektroda order pertama

Pada elektroda ini ion analit berpartisipasi langsung dengan logamnya dalam suatu reaksi paruh yang dapat dibalik. Beberapa logam seperti Ag, Hg, Cu, dan Pb dapat bertindak sebagai elektroda indikator bila bersentuhan dengan ion mereka.



Pada reaksi sebelumnya, potensial sel berubah-ubah menurut besarnya aktivitas ion perak (Ag⁺) sesuai dengan persamaan.

2. Elektroda order kedua

Ion-ion dalam larutan tidak bertukar elektron dengan elektroda logam secara langsung, melainkan konsentrasi ion logam yang bertukar elektron dengan permukaan logam. Elektroda ini bekerja sebagai elektroda referensi tetapi memberikan respon ketika suatu elektroda indikator berubah nilai a_x -nya (misalkan KCl jenuh berarti $x = \text{Cl}$).

3. Elektroda Order Ketiga

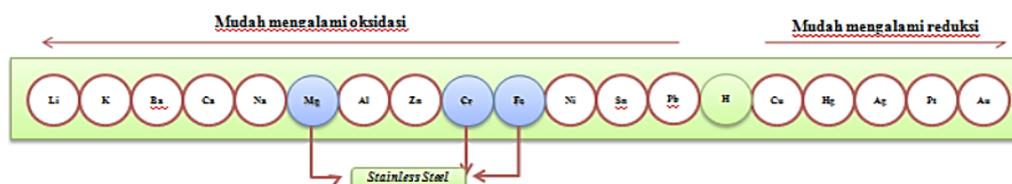
Elektroda jenis ini dipergunakan sebagai elektroda indikator dalam titrasi EDTA potensiometrik dari 29 ion logam. Elektrodanya sendiri berupa suatu tetapan atau genangan kecil raksa dalam suatu cangkir pada ujung tabung-J dengan suatu kawat sirkuit luar.

4. Elektroda Inert

Elektroda Inert merupakan elektroda yang tidak masuk ke dalam reaksi. Contohnya adalah platina (Pt), emas (Aurum/Au), dan karbon (C). Elektroda ini bekerja baik sebagai elektroda indikator. Fungsi logam Pt adalah membangkitkan kecenderungan system tersebut dalam mengambil atau melepaskan elektron, sedangkan logam itu tidak ikut secara nyata dalam reaksi redoks. Salah satu contoh logam inert yang banyak digunakan dan relative lebih murah adalah baja tahan karat *Stainless Steel*.

2.6.2 Baja Tahan Karat

Baja tahan karat atau lebih dikenal dengan *Stainless Steel* adalah senyawa besi yang mengandung setidaknya 10,5% Kromium untuk mencegah proses korosi (pengkaratan logam). Kategori *Stainless Steel* tidak halnya seperti baja lain yang didasarkan pada persentase karbon tetapi didasarkan pada struktur metalurginya. Berikut adalah komposisi stainless steel yang dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 komposisi stainless steel

Stainless steel merupakan salah satu jenis logam ferro dari klasifikasi logam baja ($\text{Fe} + \text{C} = \text{Fe}_3\text{C}$) dan dari klasifikasi logam baja paduan tinggi (high alloy) yang unsur paduan di atas 8-10 % sedangkan stainless steel memiliki unsur paduan utamanya adalah Chromium (Cr) dan Nickel (Ni) sebagian. Terdapat 5 pembagian dari jenis stainless steel yaitu:

- Austenitic Stainless Steels
- Ferritic Stainless Steels
- Martensitic Stainless Steels
- Duplex Stainless Steels
- Precipitation Hardening Stainless Steels

Duplex Stainless Steel (DSS) adalah material dengan kombinasi dua fasa yaitu austenit dan ferit. Kedua fasa ini dalam duplex memiliki sifat kekuatan dan ketangguhan yang tinggi serta ketahanan korosi yang sangat baik. DSS dapat diaplikasikan pada rentang temperature intermediate dari temperature ambient sampai beberapa ratus derajat Fahrenheit (tergantung lingkungan), dimana ketahanan terhadap asam dan larutan klorida (dipersyaratkan). DSS dapat diaplikasikan pada sektor *onshore* dan *offshore* industri minyak dan gas sbagai sistem pemipaan, (*process piping, seawater piping, tube & pipe fittings, instrumentation & hydraulic tubing*), *heat exchanger* dan *reaction vessel* karena sifatnya yang tahan korosi dan memiliki kekuatan yang tinggi. (Sidiqi, 2017)

Meskipun semua stainless steel tergantung pada presentase unsur chrome (sebagian besar) dan nickel, elemen paduan lainnya juga sering di tambahkan untuk meningkatkan sifat-sifat stainless steel tersebut menjadi lebih baik lagi. Kategori stainless steel tidak seperti pada logam-logam alamiah pada umumnya struktur kirstal yang berubah-ubah pada suhu kamar (stabil) tergantung presentase unsur chrome dan nickel.

Elektroda berbahan *Stainless Steel* dapat dibuat dengan berbagai macam bentuk menjadi lempeng, spiral, dan pipa silinder yang memiliki dua sisi yang berbeda (mengkilap dan tidak). *Stainless Steel* merupakan elektroda aktif, dimana mereka akan ikut bereaksi selama proses elektrolisis berlangsung. Oleh sebab itu, lama kelamaan elektroda ini akan mengalami penurunan aktivitasnya. Ini berarti bahwa kemampuan untuk mempercepat reaksi tertentu telah berkurang. Hal ini

terbukti, semakin lama elektroda digunakan kemampuan menghasilkan gas semakin rendah, karena permukaan elektroda semakin lama semakin berubah warna dan perlahan tergerus. Elektroda spiral mengalami perubahan yang lebih cepat dari bentuk elektroda lempeng dan pipa silinder, karena pada elektroda spiral suhu yang terbentuk pada konsentrasi yang sama lebih cepat meningkat dari pada elektroda yang lain. Kerja yang dilakukan elektroda spiral lebih besar, sehingga permukaan elektroda lebih cepat mengalami perubahan warna pada bagian anoda.

Elektroda pipa silinder lebih banyak menghasilkan gas brown daripada bentuk spiral dan lempeng. Hal ini disebabkan oleh jarak antar elektroda. Luas permukaan yang sama akan menghasilkan volume gas yang sama karena adsorpsi pereaksi di permukaan mengalami kesetimbangan yang sama pada konversi mol per vol menjadi mol per cm^2 , dengan luasan yang sama distribusi pereaksi di permukaan juga sama. Tetapi jarak antar elektroda mempengaruhi proses transfer elektron, semakin dekat jarak antar elektroda maka besar hambatan pergerakan elektron bernilai kecil begitu pula sebaliknya. Elektroda spiral memiliki jarak elektroda yang lebih kecil dari elektroda pipa silinder. Akan tetapi elektroda pipa silinder menghasilkan volume yang lebih besar.



Gambar 2.6 Pipa Stainless Steel
(Sumber : Surya, 2013)

Hal ini disebabkan posisi pereaksi pada permukaan, dengan bentuk spiral posisi pereaksi yang teradsorpsi pada permukaan tidak sejajar atau tidak banyak yang berdampungan, sehingga hal tersebut menyebabkan tidak banyak gas yang terbentuk karena reaksi tidak dapat berlangsung. Oleh karena itu dalam penelitian dipilih bentuk pipa silinder untuk elektroda yang digunakan.

2.6.3 Pemilihan Elektroda

Pemilihan elektroda merupakan salah satu hal yang penting. Elektroda berfungsi sebagai penghantar arus listrik dari sumber tegangan ke elektrolit yang akan dielektrolisis. Material serta luasan elektroda yang digunakan sangat berpengaruh terhadap gas hasil proses elektrolisis air, sehingga material elektroda harus dipilih dari material yang memiliki konduktivitas listrik dan ketahanan terhadap korosi yang baik. Suyuty (2011) membuat generator hidrogen pengasil gas brown dan mereduksi SO_x-NO_x dari motor diesel menggunakan elektroda stainless steel dan berhasil mendapatkan arus yang besar serta gas yang stabil dengan elektrolit air laut.

Penggunaan bahan *Stainless Steel* pada *prototype* pembuatan hidrogen dikarenakan Stainless Steel merupakan logam paduan yang memiliki konduktivitas dan ketahanan terhadap korosi yang relatif lebih baik dibanding logam-logam paduan ataupun logam murni lainnya dan harganya juga relatif lebih terjangkau. Sedangkan bahan seperti platina (Pt), emas (Aurum/Au), dan karbon (C). Elektroda ini bekerja baik sebagai elektroda indikator. Fungsi logam Pt adalah membangkitkan kecenderungan system tersebut dalam mengambil atau melepaskan elektron. Logam Pt juga memiliki harga yang cukup mahal dan susah didapatkan untuk penggunaan logam Pt pada proses pembuatan hidrogen. Maka material yang digunakan untuk simulasi *prototype* pembuatan hidrogen yaitu duplex stainless steel.

Secara teori, luas permukaan yang sama akan menghasilkan volume gas yang sama karena adsorpsi pereaksi di permukaan mengalami kesetimbangan yang sama pada konversi mol per volume menjadi mol per cm², dengan luas yang sama distribusi pereaksi di permukaan juga sama.

Berdasarkan penelitian Wahyono & Anies (2016) dari pengambilan data yang dilakukan bahwa dengan konsentrasi larutan elektrolit yang semakin besar maka reaktan lebih banyak sehingga muatan elektron yang ditransfer lebih banyak dan menyebabkan arus listrik semakin besar, sehingga daya yang dihasilkan lebih besar karena daya berbanding lurus dengan arus. Pengaruh luas penampang terhadap daya yang dihasilkan yaitu semakin mudah transfer elektron yang terjadi saat proses elektrolisis sehingga menyebabkan muatan elektron yang bereaksi

lebih banyak maka arus yang dihasilkan akan semakin besar, hal ini mengakibatkan daya yang dihasilkan ikut besar.

2.7 Isolasi

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. Bahan penyekat listrik dapat dibagi atas beberapa kelas berdasarkan suhu kerja maksimum. Menurut Mike K, dan Suprpto (2013) Kanebo memiliki rejeksi ion yang cukup besar sehingga dapat digunakan sebagai penyekat antara katoda dan anoda agar gas hasil elektrolisis tidak bercampur sehingga jika dilakukan pembakaran tidak akan mengalami ledakan. Sehingga penelitian ini digunakan bahan penyekat dari kelas Y yaitu Polivinil Asetal Komersil atau Kanebo dengan kondisi operasi maksimum 90°C.

2.8 Arrestor

Arrestor adalah suatu komponen alat yang berfungsi sebagai upaya pengendalian yang bertujuan untuk mengurangi resiko terjadinya kecelakaan kerja seperti terjadinya ledakan akibat terjadinya *flashback fire* pada saat uji nyala pada alat prototype pembuatan hidrogen. Pemilihan bahan baku untuk pembuatan *flashback arrestor* ini harus memiliki sifat dapat meredam panas atau tahan api dan tidak mudah korosi. *Stainless steel wool*, serbuk logam tembaga, dan aluminium oxide adalah bahan baku pembuatan *arrestor*

Stainless steel wool mengandung sedikitnya 16% Chrom dan 6% Nikel. Kandungan kromium tersebut berfungsi untuk mencegah terjadinya korosi, kemudian *steel wool* ini dipakai dalam bentuk serbuk sebagai salah satu bahan pembuatan *flashback arrestor* yang berfungsi untuk mencegah terjadinya

flashback fire pada saat terjadinya nyala pada prototype alat pembuatan hidrogen.

Serbuk tembaga banyak dipergunakan untuk berbagai aplikasi peredam karena serbuk tembaga ini memiliki sifat konduktivitas elektrik dan termal yang sangat baik dan memiliki sifat semi konduktor, serbuk tembaga ini juga merupakan bahan baku yang digunakan untuk pembuatan flashback arrestor karena sifat dan karakteristiknya.

Alumunium oxide senyawa kimia dari alumunium dan oksigen dan nama mineralnya adalah alumina. Alumunium oxide adalah insulator (penghambat) panas dan listrik yang baik dan juga berperan dalam menghambat terjadinya korosi.