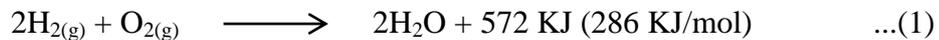


## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Hidrogen

Hidrogen dalam bahasa Latin disebut *hydrogenium*, dalam bahasa Yunani : *hydro*: air, *genes*: membentuk. Hidrogen adalah unsur kimia pada tabel periodik yang memiliki simbol **H** dan nomor atom 1 merupakan gas yang tak berwarna, tak berbau, tak berasa dengan rumus kimia H<sub>2</sub>. Gas Hidrogen sangat mudah terbakar. 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 H<sub>2</sub>. Karena hidrogen di bumi sangat jarang ditemukan dalam bentuk H<sub>2</sub>, 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 <sup>3</sup>
Titik didih pada 1.013 bar	-252,9 °C
Titik pengapian	560 °C
Tingkat pembakaran	8,99 m/s
Nilai Kalori 0 °C, 1,013 bar	10790 KJ/ m <sup>3</sup>
Konsentrasi ledakan campuran dengan udara	4,1% menjadi 75%
Konsentrasi ledakan campuran dengan 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. Elektrolisis

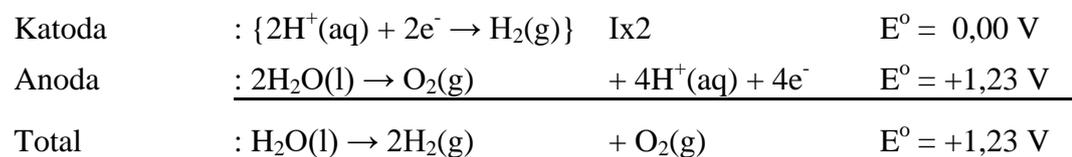
Elektrolisis merupakan proses kimia yang mengubah energi listrik menjadi energi kimia. Pertama kali dilakukan oleh William Nicholson dan Anthony Carlisle kira-kira pada tahun 1800. Proses elektrolisis merupakan proses

menguraikan molekul air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) menjadi gas hydrogen ( $\text{H}_2$ ) dan oksigen ( $\text{O}_2$ ) dengan cara mengalirkan arus listrik (AC atau DC) ke elektroda tempat larutan elektrolit berada. Pada katode, dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron, tereduksi menjadi gas  $\text{H}_2$  dan ion hidroksida ( $\text{OH}^-$ ). Sementara itu pada anoda, dua molekul air lain terurai menjadi gas oksigen ( $\text{O}_2$ ), melepaskan 4 ion  $\text{H}^+$  serta mengalirkan elektron ke katoda. Ion  $\text{H}^+$  dan  $\text{OH}^-$  mengalami netralisasi sehingga terbentuk kembali beberapa molekul air. Reaksi elektrolisis tergolong reaksi redoks tidak spontan, reaksi itu dapat berlangsung karena pengaruh energi listrik (Rusminto, 2009). Proses ini ditemukan oleh Faraday tahun 1820.

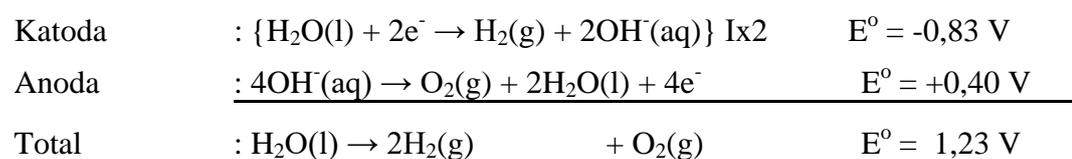
Sel elektrolisis adalah sel yang menggunakan arus listrik untuk mengubah reaksi kimia yang terjadi. Pada sel elektrolisis katoda memiliki muatan negatif sedangkan anoda memiliki muatan positif (Harahap, 2019). Larutan yang ingin dielektrolisis, ditempatkan dalam suatu wadah. Selanjutnya elektroda dicelupkan 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.

Elektrolit asam,



Elektrolit basa,



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 penyusunnya hidrogen dan oksigen karena ion katalisator mampu mempengaruhi kestabilan molekul air menjadi ion  $H^+$  dan  $OH^-$  yang lebih mudah dielektrolisis. 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 Tercelup

Semakin besar luas yang menyentuh elektroda maka semakin besar 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. 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 2.1 Deret Volta

(Sumber : <https://www.kimia100.com/2020/02/prediksi-reaksi-dengan-deret-volta.html>)

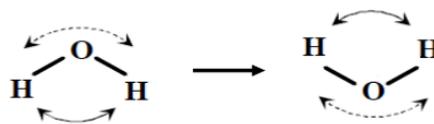
Semakin ke kanan maka semakin besar massa jenisnya. Dalam hal ini logam stainless steel paling sering digunakan karena kromium memiliki peran untuk mencegah proses korosi (pengkaratan logam).

#### 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.

### 2.3. 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. 2 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.

#### 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  $^0/00$  (*parts per thousand*). Oleh karena itu, suatu sampel air laut yang seberat 1000 gram yang mengandung 35 gram senyawa-senyawa terlarut mempunyai salinitas  $35^0/00$ .

Zat-zat yang terlarut meliputi garam-garam anorganik, senyawa-senyawa organik yang berasal dari organisme hidup dan gas-gas terlarut. 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:  $Fe_2O_3$ ,  $CaCO_3$ ,  $CaSO_4$ ,  $MgCl_2$ ,  $NaCl$ ,  $MgSO_4$ ,  $NaBr$  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	
<i>Fresh Water</i>	<0.5
<i>Oligohaline</i>	0.5-3.0
Air Payau	
<i>Mesohaline</i>	3.0-16.0
<i>Polyhaline</i>	16.0-30.0
Air Laut	
<i>Marine</i>	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 (*salinity*) 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.

#### **2.4. Larutan 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 *Clorin* dan persamaan kimianya juga telah berubah dari sebelumnya dan reaksi yang terjadi pada anoda dapat dilihat dalam persamaan berikut: (Siregar, 2020).



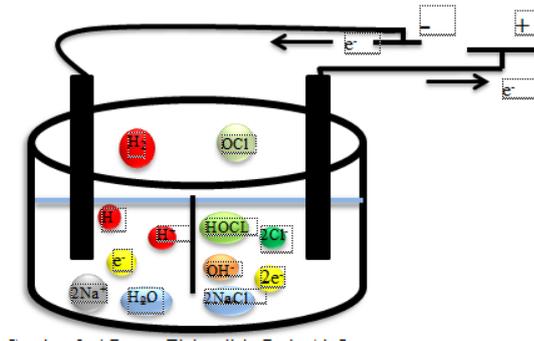
Klorin yang dihasilkan selanjutnya diserap dalam larutan air dengan  $\text{PH} > 3$  melalui reaksi yang ditunjukkan pada persamaan (Siregar, 2020).



Menurut  $\text{PH}$  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 di anoda, 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 2.3 Proses Elektrolisis Pada Air Laut

## 2.5. 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 <sup>+</sup> /Na	Na <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> ⇌ Na	-2,71
Mg <sup>2+</sup> /Mg	Mg <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> ⇌ Mg	-2,37
Al <sup>3+</sup> /Al	Al <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup> ⇌ Al	-1,66
H <sub>2</sub> O/H <sub>2</sub>	2H <sub>2</sub> O + 2e <sup>-</sup> → H <sub>2</sub> + 2OH <sup>-</sup>	-0,828
Zn <sup>2+</sup> /Zn	Zn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> ⇌ Zn	-0,76
Fe <sup>2+</sup> /Fe	Fe <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> ⇌ Fe	-0,44
Sn <sup>2+</sup> /Sn	Sn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> ⇌ Sn	-0,14
Pb <sup>2+</sup> /Pb	Pb <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> ⇌ Pb	-0,13
D <sup>+</sup> /D <sub>2</sub>	2D <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> ⇌ D <sub>2</sub>	-0,003
H <sup>+</sup> /H <sub>2</sub>	2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> ⇌ H <sub>2</sub>	0,000
Sn <sup>4+</sup> /Sn <sup>2+</sup>	Sn <sup>4+</sup> + 2e <sup>-</sup> ⇌ Sn <sup>2+</sup>	+0,15
Cu <sup>2+</sup> /Cu	Cu <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> ⇌ Cu	+0,34
I <sub>2</sub> /I <sup>-</sup>	I <sub>2</sub> + 2e <sup>-</sup> ⇌ 2I <sup>-</sup>	+0,54
O <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> + 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> ⇌ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	+0,68
Fe <sup>3+</sup> /Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup> + e <sup>-</sup> ⇌ Fe <sup>2+</sup>	+0,77
Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup> /Hg	Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> ⇌ 2Hg	+0,79
Ag <sup>+</sup> /Ag	Ag <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> ⇌ Ag	+0,80
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	2NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + 4H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> ⇌ N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> + 2H <sub>2</sub> O	+0,80
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /NO	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + 4H <sup>+</sup> + 3e <sup>-</sup> ⇌ NO + 2H <sub>2</sub> O	+0,96
Br <sub>2</sub> /Br <sup>-</sup>	Br <sub>2</sub> + 2e <sup>-</sup> ⇌ 2Br <sup>-</sup>	+1,07
O <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O	O <sub>2</sub> + 4H <sup>+</sup> + 4e <sup>-</sup> ⇌ 2H <sub>2</sub> O	+1,23
Cl <sub>2</sub> /Cl <sup>-</sup>	Cl <sub>2</sub> + 2e <sup>-</sup> ⇌ 2Cl <sup>-</sup>	+1,36
PbO <sub>2</sub> /Pb <sup>2+</sup>	PbO <sub>2</sub> + 4H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> ⇌ Pb <sup>2+</sup> + H <sub>2</sub> O	+1,46
Au <sup>3+</sup> /Au	Au <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup> ⇌ Au	+1,50
MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> /Mn <sup>2+</sup>	MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> + 8H <sup>+</sup> + 5e <sup>-</sup> ⇌ Mn <sup>2+</sup> + 4H <sub>2</sub> O	+1,51
HClO/CO <sub>2</sub>	2HClO + 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> ⇌ Cl <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O	+1,63

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

Elektroda merupakan salah satu komponen yang sangat penting pada proses elektrolisis air. Material elektroda harus dipilih dari material yang memiliki

konduktifitas listrik dan ketahanan terhadap korosi yang baik. titanium dan logam mulia seperti emas dan platina memiliki nilai konduktifitas dan ketahanan terhadap korosi yang tinggi namun keberadaannya di pasaran sangat terbatas sehingga harganya menjadi relatif sangat mahal. Oleh karena itu, perlu dicari material lain yang mempunyai sifat konduktifitas dan ketahanan korosi yang baik namun harganya relatif lebih murah dan tersedia di pasaran. *Stainless steel* merupakan logam paduan yang memiliki konduktifitas dan ketahanan terhadap korosi yang relatif lebih baik di banding logam-logam paduan ataupun logam murni lainnya dan harganya juga relatif lebih terjangkau. Sehingga *Stainless steel* menjadi pilihan yang tepat untuk digunakan sebagai elektroda pada proses elektrolisis.

## 2.6. 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 ( $\text{Ag}^+$ ) 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 *indicator* berubah nilai  $a_x$ -nya (misalkan KCL jenuh berarti  $x = \text{Cl}$ ).

### 3. Elektroda Order Ketiga

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

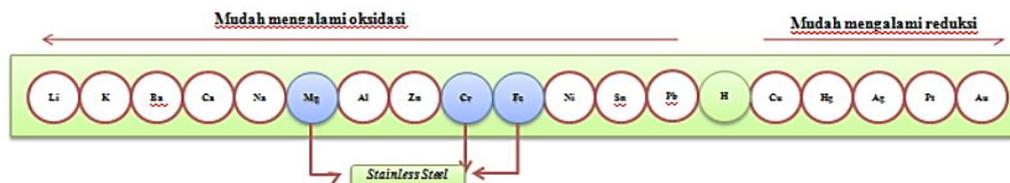
### 4. Elektroda Inert

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 *indicator*. Fungsi logam Pt adalah membangkitkan kecendrungan 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*.

## 2.7. *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). 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 2.4.



Gambar 2.4 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*

Setiap kelompok *stainless steel* terbagi lagi menjadi beberapa tipe dengan persentase dan kandungan unsur paduan yang berbeda-beda, sebagaimana dapat dilihat pada tabel 2.4 berikut ini.

Tabel 2.4. Kandungan Logam Setiap Tipe *Stainless Steel*

AISI+ Type	Cr	Ni	C	Mn	Si	P	S	Other	REMARKS
201	16-18	3.5-5.5	.15 max	5.5-7.5	1 max	.06 max	.03 max	N .25 max	Low-nickel Equivalent of Type 301
202	17-19	4-6	.15 max	7.5-10	1 max	.06 max	.03 max	N .25 max	Low-nickel Equivalent of Type 302
301	16-18	6-8	.15 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max		High Work-hardening
302	17-19	8-10	.15 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max		General-Purpose "18-8"
302B	17-19	8-10	.15 max	2 max	2-3	.045 max	.03 max		More Scaling Resistance than Type 302
303	17-19	8-10	.15 max	2 max	1 max	.2 max	.15 min	.6 Mo or .6 Zr optional	Free Machining "18-8"—Heavy Cuts
303Se	17-19	8-10	.15 max	2 max	1 max	.2 max	.06 max	Se .15 min	Free Machining "18-8"—Light Cuts
304	18-20	8-12	.08 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max		Low-Carbon—For Welding
304L	18-20	8-12	.03 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max		Lower-Carbon—For Welding
305	17-19	10-13	.12 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max		Lower Work-hardening Rate
308	19-21	10-12	.08 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max		Welding Rod—For Ductility
309	22-24	12-15	.2 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max		High-temp Strength and Scaling Resistance
309S	22-24	12-15	.08 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max		Low-Carbon Type 309—For Welding
310	24-26	19-22	.25 max	2 max	1.5 max	.045 max	.03 max		Better High-temp Strength and Scaling Res.
310S	24-26	19-22	.08 max	2 max	1.5 max	.045 max	.03 max		Low-Carbon Type 310—For Welding
314	23-26	19-22	.25 max	2 max	1.5-3	.045 max	.03 max		Most Scaling Resistant
316	16-18	10-14	.08 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max	Mo 2-3	Increased Corrosion Resistance
316L	16-18	10-14	.03 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max	Mo 2-3	Low-carbon Type 316—For Welding
317	18-20	11-15	.08 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max	Mo 3-4	More Corrosion Resistance than Type 316
321	17-19	9-12	.08 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max	Ti 5xC min	Stabilized Against Carbide Precipitation
347	17-19	9-13	.08 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max	Cb + Ta 10XC min	Stabilized Against Carbide Precipitation
348	17-19	9-13	.08 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max	Cb + Ta 10XC min but Ta .1 max	Stabilized Against Carbide Precipitation
403	11.5-13	—	.15 max	1 max	.5 max	.04 max	.03 max		Like Type 410—"Turbine Quality"
405	11.5-14.5	—	.08 max	1 max	1 max	.04 max	.03 max	Al .1-.3	Reduced Heat-treat-hardening
410	11.5-13.5	—	.15 max	1 max	1 max	.04 max	.03 max		General-Purpose "12 Cr"
414	11.5-13.5	1.25-2.5	.15 max	1 max	1 max	.04 max	.03 max		Better Strength than Type 410
416	12-14	—	.15 max	1.25 max	1 max	.06 max	.15 min	.6 Mo or .6 Zr optional	Free Machining "12 Cr"—Heavy Cuts
416Se	12-14	—	.15 max	1.25 max	1 max	.06 max	.06 max	Se .15 min	Free Machining "12 Cr"—Light Cuts
420	12-14	—	over .15	1 max	1 max	.04 max	.03 max		Like Type 410—For Higher Hardness
430	14-18	—	.12 max	1 max	1 max	.04 max	.03 max		General-Purpose "17 Cr"
430F	14-18	—	.12 max	1.25 max	1 max	.06 max	.15 min	.6 Mo or .6 Zr optional	Free Machining "17 Cr"—Heavy Cuts
430F Se	14-18	—	.12 max	1.25 max	1 max	.06 max	.06 max	Se .15 min	Free Machining "17 Cr"—Light Cuts
431	15-17	1.25-2.5	.2 max	1 max	1 max	.04 max	.03 max		Hardenable—High Impact Strength
440A	16-18	—	.6-.75	1 max	1 max	.04 max	.03 max	Mo .75 max	Higher Hardness than Type 420
440B	16-18	—	.75-.95	1 max	1 max	.04 max	.03 max	Mo .75 max	Higher Hardness than Type 440A
440C	16-18	—	.95-1.2	1 max	1 max	.04 max	.03 max	Mo .75 max	Higher Hardness than Type 440B
446	23-27	—	.2 max	1.5 max	1 max	.04 max	.03 max	N .25 max	Scaling Resistance at Elev Temp
501	4-6	—	over .10	1 max	1 max	.04 max	.03 max	Mo 0.40-0.65	Heat Resistant, Good Mechanical Properties at Elev Temp
502	4-6	—	.10 max	1 max	1 max	.04 max	.03 max	Mo 0.40-0.65	When Annealed, Greater Ductility, Lower Tensile Strength than Type 501

(Sumber : <https://www.caesarvery.com/2017/02/macam-macam-stainless-steel-ss.html>)

### 2.7.1. Kelompok *Stainless Steel Martensitic*

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

aplikasi. Baja tahan karat kelompok ini bersifat magnetis. Pada kelompok atau klasifikasi *martensic* di bagi dalam beberapa tipe yang antara lain adalah:

a. Tipe 410

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

b. Tipe 416

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

c. Tipe 431

Mengandung 17,5% *chrome*, 2,5% *nickel* dan 0,15% maksimum *carbon*

### 2.7.2. Kelompok *Stainless Steel Ferritic*

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

a. Tipe 430

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

### 2.7.3. Kelompok *Stainless Steel Austenitic*

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

a. Tipe 304 Tipe ini dibuat dengan bahan dan pertimbangan ekonomis, sangat baik untuk lingkungan tercemar dan di air tawar namun tidak di anjurkan pemakaiannya.

b. Tipe 321

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

c. Tipe 347

Mirip dengan type 321 tetapi dengan penambahan niobium (bukan titanium). pada tipe ini ada penambahan unsur molibdenum 2% – 3% sehingga memberikan perlindungan terhadap korosi, baik di gunakan pada peralatan yang berhubungan dengan air laut. Penambahan nikel sebesar 12% tetap mempertahankan struktur *austenitic*

d. Tipe 316

*Stainless Steel 316* mempunyai komposisi nikel sebesar 10%, kromium 16%, dan 20% molibdenum. *Molybdenum* adalah elemen kimia yang digunakan untuk menguatkan dan mengeraskan baja. Kandungan zat tersebut menjadikan *Stainless Steel* jenis ini lebih tahan terhadap korosi daripada tipe terdekatnya yaitu *Stainless Steel 304*. Fungsi utama *Stainless 316* adalah melawan karat yang diakibatkan oleh klorida. Kemampuannya dalam menahan korosi. Dalam pemakaiannya pun *Stainless 316* memiliki ketahanan lebih lama.

*Stainless Steel 316* biasanya digunakan pada industri kelautan karena sifatnya yang tahan karat yang disebabkan oleh air garam. Di samping itu, 316 juga diaplikasikan pada pemrosesan bahan kimia, alat-alat penyulingan, alat penyimpanan, dan alat kesehatan. Selain itu, *stainless steel 316* umumnya digunakan pada instalasi operasi kilang minyak dan gas di lepas pantai dalam bentuk pipa injeksi. Hal ini karena sifatnya yang tahan karat, kuat, dan dapat digunakan dalam waktu yang lama.

e. Moly

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

f. L Grade

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

#### 2.7.4. Kelompok *Stainless Steel Duplex*

Merupakan kelompok terbaru yang memiliki keseimbangan kromium, nikel, molibdenum dan nitrogen pada campuran yang sama antara kelompok austenitik dan kelompok ferit. Hasilnya adalah sebuah kekuatan yang tinggi, sangat tahan terhadap korosi. Direkomendasikan pada suhu -50 sampai dengan +300 ° C. Biasanya di sebut uNS, sebagai merk dagang. Beberapa tipe dari *Stainless Steel Duplex* antara lain adalah:

a. UNS S31803

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

b. UNS S32750

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

c. UNS S32750

Ini merupakan tipe super untuk kelompok duplex, ketahanan terhadap korosi yang meningkat. Komposisi dari tipe ini adalah: 0,03% maksimum *carbon*, 25% *chrome*, 7% nikel, 4% molibdenum dan 0,028 *nitrogen*. Elemen-elemen ini bereaksi dengan oksigen yang ada di air dan udara membentuk sebuah lapisan yang sangat tipis dan stabil yang mengandung produk

Baja merupakan salah satu material logam yang banyak diaplikasikan dalam dunia industri. Ketahanan korosi pada baja dipengaruhi oleh unsur paduan yang terkandung di dalamnya seperti nikel (Ni), krom (Cr), dan mangan (Mn). Ketiga unsur tersebut akan berdampak pada sifat ketahanan korosi. *Stainless steel* merupakan baja anti karat yang tahan terhadap korosi karena memiliki unsur paduan minimal 18% krom dan 8% nikel. *Stainless steel* dapat diperoleh dengan mencampurkan feronikel (18-20% Ni. 75-78% Fe) ke dalam leburan nikel ferokrom melalui oksidasi sebelum dilakukan proses pembuatan baja. Feronikel yang ditambahkan disesuaikan dengan kandungan nikel yang terdapat dalam nikel ferokrom. (Arga Jeremiah Sinaga, 2020)

Baja tahan karat *austenitic (Stainless Steel Austenitic)* adalah baja yang mempunyai ketahanan korosi baik, sifat mampu bentuk, dan sifat mampu las serta bersifat non feromagnetik. Baja tahan karat (SS) telah banyak digunakan di industri selama beberapa dekade terutama baja tahan karat austenitik 316L karena ketahanannya yang terdokumentasi dengan baik terhadap korosi namun, baja tahan karat masih mengalami serangan korosi terutama pada media korosif seperti larutan elektrolit. Korosi *Stainless Steel* dalam larutan elektrolit bergantung terutama pada kandungan garam (yang meningkatkan konduktivitas listrik) dan kandungan oksigennya. Sejumlah variabel dapat mempengaruhi dan memperumit proses korosi dengan berbagai cara seperti klorida, sulfat, dan suhu. (A. Ismail, 2014)

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 kristal 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  $\text{cm}^2$ , 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 2.5 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 berdampingan, 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.

#### 2.7.5. 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  $\text{SO}_x$ - $\text{NO}_x$  dari motor diesel menggunakan elektroda

stainless steel dan berhasil mendapatkan arus yang besar serta gas yang stabil dengan larutan elektrolit.

Penggunaan bahan *Stainless Steel* pada alat 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 yaitu austenitik *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  $\text{cm}^2$ , 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.