

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Elektroplating**

Industri elektroplating merupakan salah satu industri di Indonesia yang berkembang semakin pesat. Perkembangan ini juga memberikan dampak positif maupun dampak negatif. Dampak positifnya berupa beragamnya produk-produk elektroplating yang banyak diminati oleh masyarakat sesuai dengan kemajuan zaman yang semakin modern. Dampak negatifnya adalah meningkatnya limbah cair elektroplating yang mengandung ion-ion logam berat yang berbahaya. Limbah cair elektroplating mengandung Bahan Berbahaya Beracun (B3) (Cahyanti, 2017).

Elektroplating adalah suatu proses perpindahan ion logam dengan bantuan arus listrik melalui elektrolit sehingga ion logam mengendap pada benda padat konduktif membentuk lapisan logam. Lapisan logam yang mengendap disebut deposit. Pengendapan terjadi pada benda kerja yang berlaku sebagai katoda. Sumber arus listrik searah dihubungkan dengan dua buah elektroda yaitu katoda dan anoda. Katoda adalah elektroda yang dihubungkan dengan kutub negatif sedangkan anoda adalah elektroda yang dihubungkan dengan kutub positif (Sari, 2010).

Elektroplating atau lapis listrik atau penyepuhan merupakan deposisi lapisan tipis pelindung (biasanya logam) ke dalam permukaan logam yang telah dipersiapkan menggunakan proses elektrokimia. Benda yang dikenai pelapisan harus merupakan konduktor. Proses elektroplating terdiri dari *pretreatment* (pencucian, *degreasing*, dll), pelapisan, *passivating*, dan pengeringan, seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Objek yang akan dilapisi dalam proses elektroplating biasanya digunakan sebagai katoda pada tangki elektrolit. Jenis larutan elektrolit yang sering digunakan adalah asam, basa, dan ion kompleks seperti sianida. Pelapisan nikel dan kromium secara umum bertujuan untuk membuat benda mempunyai permukaan yang lebih keras, mengkilap, dan tahan terhadap korosi karat, seperti pada Gambar 2 (Nugroho, 2014).



Sumber: Ananta, 2016

Gambar 1. Bak proses elektroplating



Sumber: PT. Lautan Luas, Tbk, 2020

Gambar 2. Contoh produk dari proses elektroplating

Prinsip elektroplating adalah pelapisan suatu logam secara elektrolisa melalui penggunaan arus listrik searah (*directcurrent/DC*) dan larutan kimia (elektrolit) digunakan sebagai penyuplay ion-ion logam membentuk endapan (lapisan) logam pada elektroda katoda. Terjadinya endapan karena adanya ion ion bermuatan listrik yang berpindah secara terus menerus dari suatu elektroda melalui larutan elektrolit (Ningrum, 2018).

Secara umum proses pengerjaan barang-barang yang dilapisi logam adalah sebagai berikut (Sari, 2010):

#### 1. Pembersihan dan Pengupasan

Pada tahap awal adalah mempersiapkan logam yang akan dilapisi dengan cara pembersihan dan pengupasan. Lemak atau minyak yang menempel dapat dihilangkan dengan pelarut benzen, trikloroetilin, metil klorida, 3 toluena dan

karbon tetraklorida atau larutan alkali yang mengandung natrium karbonat, sianida, borak, sabun atau pembersih lain.

## 2. Pengasaman

Pengasaman adalah proses penghilangan kerak dan karat dari logam dengan menggunakan larutan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) dan asam klorida (HCl).

## 3. Pencelupan/pelapisan tanpa listrik

Bahan pencelupan atau pelapisan tanpa listrik berfungsi sebagai pengaktivasi benda kerja yang akan diplating atau dilapisi. Bahan-bahanpencelup yang dipakai umumnya adalah larutan asam kuat yaitu HCl dan  $H_2SO_4$ .

## 4. Elektroplating

Proses pelapisan benda kerja menggunakan listrik.

## 5. Pembilasan

Pembilasan dapat dilakukan dalam air mengalir atau disemprot untuk menghilangkan sisa larutan elektrolit yang menempel pada benda kerja.

Prinsip dasar dari pelapisan logam secara listrik ini adalah penempatan ion-ion logam yang ditambah elektron pada logam yang dilapisi. Ion-ion logam tersebut didapat dari anoda dan elektrolit yang digunakan anoda dihubungkan dengan kutub positif listrik. Katoda dihubungkan dengan kutub negatif dari sumber arus listrik. Anoda dan katoda direndam dalam larutan elektrolit. Jika arus listrik dialirkan maka pada katoda akan terjadi endapan (pelapisan logam). Adanya arus listrik yang mengalir dari sumber maka elektron dialirkan melalui elektrode positif (anoda) menuju elektroda negatif (katoda) dan dengan adanya ion-ion logam yang didapat dari elektrolit maka menghasilkan perpindahan logam yang melapisi permukaan logam lainnya (Sari, 2010).

Benda kerja merupakan benda yang akan dilapisi dan harus bersifat konduktif atau menghantarkan arus listrik serta berfungsi sebagai katoda. Proses pelapisan pada benda kerja dilakukan pada suatu elektrolit yang mengandung senyawa logam. Untuk meningkatkan hantaran arus dapat ditambahkan asam atau basa. Ion logam ( $M^{n+}$ ) dalam elektrolit yang bermuatan positif bergerak menuju benda kerja sebagai katoda yang bermuatan negatif sehingga ion logam  $M^{n+}$  akan

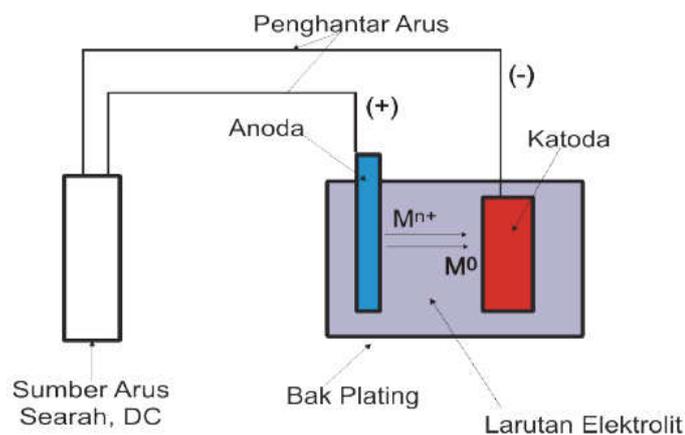
tereduksi menjadi logam M dan mengendap di katoda membentuk lapisan logam (deposit). Reaksinya dituliskan sebagai berikut (Sari, 2010):



Ion logam dalam elektrolit yang telah tereduksi dan menempel di katoda, posisinya akan diganti oleh anoda logam yang teroksidasi dan larut dalam elektrolit atau dari penambahan larutan senyawa logam. Pada anoda terjadi oksidasi. Reaksinya dituliskan sebagai berikut:



Apabila proses elektroplating berjalan seimbang maka konsentrasi elektrolit akan tetap, anoda semakin lama berkurang, dan terjadi pengendapan logam yang melapisi katoda sebagai benda kerja.



Sumber: Sari, 2010

Gambar 3. Skema proses elektroplating

## 2.2 Limbah

Menurut menteri lingkungan hidup dan kehutanan republik Indonesia tahun 2016 limbah adalah sisa dari suatu usaha maupun kegiatan yang mengandung bahan berbahaya atau beracun yang karena sifat, konsentrasi, dan jumlahnya, baik yang secara langsung maupun tidak langsung dapat membahayakan lingkungan, kesehatan, kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya.

Menurut Abdurrahman (2006), berdasarkan wujud limbah yang dihasilkan, limbah diklasifikasikan menjadi 3 yaitu:

### 1. Limbah padat

Limbah padat adalah limbah yang memiliki wujud padat yang bersifat kering dan tidak dapat berpindah kecuali dipindahkan. Limbah padat ini biasanya berasal dari sisa makanan, sayuran, potongan kayu, ampas hasil industri, dan lain-lain.

### 2. Limbah cair

Limbah cair adalah limbah yang memiliki wujud cair. Limbah cair ini selalu larut dalam air dan selalu berpindah (kecuali ditempatkan pada wadah/bak). Contoh dari limbah cair ini adalah air bekas cuci pakaian/piring, limbah cair dari industri elektroplating, dan lain-lain.

### 3. Limbah gas

Limbah gas adalah limbah yang berwujud gas. Limbah gas bisa dilihat dalam bentuk asap dan selalu bergerak sehingga penyebarannya luas. Contoh dari limbah gas adalah gas buangan kendaraan bermotor, buangan gas dari hasil industri.

## 2.3 Limbah Elektroplating

Proses elektroplating tidak hanya menghasilkan produk yang berguna, proses ini juga menghasilkan limbah padat, emisi gas, dan cair. Limbah padat berasal dari proses penghilangan kerak, *polishing*, maupun kotoran sisa pada bak elektroplating. Limbah berupa emisi gas pada umumnya berasal dari penguapan larutan elektrolit, solven, uap asam, maupun cairan pembersih. Limbah cair berupa air limbah yang berasal dari pencucian, pembersihan dan proses elektroplating. Kandungan dari air limbah terdiri dari logam-logam terlarut, solven, dan senyawa organik maupun anorganik terlarut lainnya (Sari, 2010).

Limbah elektroplating merupakan logam berat dalam bentuk kompleks yang terdiri dari krom (Cr), kobalt (Co), tembaga (Cu), nikel (Ni), seng (Zn), dan sianida (CN). Konsentrasi limbah ini masih cukup tinggi (>1000 ppm (total padatan), dengan COD 900 ppm). Debit limbah terbesar didapatkan dari proses pencucian logam. Jika akumulasi dalam penampungan semakin besar, maka akan terjadi intrusi ke dalam air permukaan. Hal ini dapat menimbulkan keracunan air minum dan penurunan derajat kesehatan masyarakat (Ningrum, 2018).

Kuantitas limbah yang dihasilkan dari proses elektroplating tidak terlampau besar, tetapi tingkat toksisitasnya sangat berbahaya, terutama krom, nikel, dan seng. Kondisi operasi, proses pelapisan, dan cara pembilasan yang dilakukan mempengaruhi variasi dari karakteristik dan tingkat toksisitas air limbah elektroplating (Nurhasni, 2013).

Tabel 1. Karakteristik limbah elektroplating

Sifat	Nilai
Ph	6,9
Cr <sup>6+</sup> (ppm)	16,0298
Ni (ppm)	0,9874
TDS (ppm)	197
Warna	Kuning terang

*Sumber: Nugroho, 2014*

Pembuangan langsung limbah dari proses elektroplating tanpa pengolahan terlebih dahulu ke lingkungan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Cemaran tersebut dapat mencemari mikroorganisme dan lingkungannya baik dalam bentuk larutan, koloid, maupun bentuk partikel lainnya.

Pengolahan limbah cair ini dapat dilakukan secara fisika, kimia, elektrokimia maupun biologi. Jenis pengolahan limbah dilakukan tergantung dari karakteristik senyawa-senyawa yang ada pada limbah cair tersebut. Mengingat penting dan besarnya dampak yang ditimbulkan bagi lingkungan maka diperlukan suatu pengolahan terlebih dahulu sebelum efluent limbah tersebut dibuang ke lingkungan. Pengolahan limbah yang dilakukan oleh para pengrajin pada umumnya menggunakan metode pengendapan (sedimentasi) dan penggumpalan (koagulasi). Kedua proses ini dilakukan dengan menggunakan kontrol pH. Parameter pH mempengaruhi keberadaan spesies kimia di dalam limbah cair tersebut (Sari, 2010).

Limbah cair yang diizinkan untuk dibuang ke perairan harus sesuai dengan baku mutu lingkungan yang telah ditetapkan oleh pemerintah. Baku mutu lingkungan industri elektroplating menurut KEP51-/MENLH/10/1995 dijelaskan pada Tabel 2.

Tabel 2. Baku mutu lingkungan industri elektroplating

Parameter	Kadar Maksimum (mg/L)	Beban Pencemaran Maksimum (gram/M <sup>2</sup> )
TSS	20	0,4
Sianida Total (CN) tersisa	0,2	0,004
Krom Total (Cr)	0,5	0,010
Krom Heksavalen (Cr+6)	0,1	0,002
Tembaga (Cu)	0,6	0,012
Seng (Zn)	1,0	0,020
Nikel (Ni)	1,0	0,020
Kadmium (Cd)	0,05	0,001
Timbal (Pb)	0,1	0,002
pH		6,0 - 9,0
Debit Limbah Maksimum	20 L per m <sup>2</sup> produk pelapis logam	

Berdasarkan uraian tersebut, maka diperlukan suatu usaha lain untuk mengolah limbah elektroplating agar dapat diminimalisir dampaknya terhadap lingkungan. Selain itu dimungkinkan adanya penggunaan kembali limbah elektroplating sehingga dapat lebih bermanfaat dan menambah nilai tambah, maka dari itu limbah elektroplating dimanfaatkan untuk memproduksi gas hidrogen (H<sub>2</sub>). Limbah elektroplating sebelumnya dilakukan proses pengolahan limbah terlebih dahulu untuk mendapatkan air bersih, caranya yaitu dapat dilakukan dengan proses elektrokoagulasi sebelum diolah menjadi gas hidrogen (H<sub>2</sub>). Setelah didapatkan air bersih, selanjutnya air ini digunakan sebagai umpan alat reaktor *oxyhydrogen* untuk mendapatkan gas hidrogen (H<sub>2</sub>).

## 2.4 Elektrokoagulasi

Metode elektrokoagulasi sering dikenal sebagai “elektrolisis gelombang pendek” yang diduga dapat menjadi pilihan metode pengolahan limbah radioaktif dan limbah berbahaya beracun yang merupakan gabungan dua proses, yaitu elektrokimia dan koagulasi-flokulasi (Ridantami, 2016).

Elektrokoagulasi merupakan proses penggumpalan dan pengendapan partikel halus yang terdapat dalam air dengan menggunakan energi listrik. Proses elektrokoagulasi biasa dilakukan pada bejana elektrolisis yang di dalamnya terdapat penghantar arus listrik yang dinamakan elektroda. Proses elektrokoagulasi merupakan metode pengolahan limbah yang dikembangkan

secara luas untuk pengolahan berbagai limbah di antaranya limbah industri tekstil, limbah *laundry*, limbah elektroplating, limbah minyak, limbah industri kertas dan *pulp*. Selain itu, proses elektrokoagulasi juga dapat memindahkan berbagai kontaminan bakteri, virus, arsen, fosfat, sulfit, sulfat, boron, nitrat, florida, dan krom (Ridantami, 2016).

Elektrokoagulasi adalah salah satu metode yang efisien dan mudah dalam pengoperasiannya untuk mengurangi kadar logam berat melalui reaksi elektrolisis dan tidak dibutuhkan penambahan koagulan kimia (Ratnawati, 2012). Pada saat dialirkan arus DC pada proses ini, akan terjadi perbedaan potensial di antara elektroda katoda dan anoda sehingga akan terjadi reaksi oksidasi pada logam yang menghasilkan ion hidrogen ( $H^+$ ) dan gas oksigen. Sementara itu, air tereduksi pada katoda yang menghasilkan ion hidroksil ( $OH^-$ ) dan gas hidrogen (Ridantami, 2016).

Elektrokoagulasi telah banyak digunakan untuk mengolah berbagai jenis limbah, diantaranya penghilangan warna pada limbah pabrik teh, pengolahan limbah tekstil, pengolahan limbah zat warna, pemurnian air laut, penghilangan hidrokuinon dari air, dan penghilangan logam-logam berat di perairan (Yusbarina, 2014).

Metode ini dianggap sebagai metode yang berpotensi efektif untuk mengolah banyak jenis air limbah dengan efisiensi dekolorisasi tinggi dan pembentukan lumpur yang relatif sedikit. Pengolahan air dan air limbah dalam elektrokoagulasi didasarkan pada pembubaran elektrokimia elektroda logam korban menjadi spesies yang larut atau tidak larut yang meningkatkan koagulasi, adsorpsi atau presipitasi polutan yang larut atau koloid dengan efisiensi penghilangan yang tinggi. Proses elektrokoagulasi melibatkan pengaliran arus listrik ke elektroda pengorbanan (kebanyakan besi dan aluminium) di dalam tangki reaktordimana saat ini menghasilkan agen koagulasi dan gelembung gas (Abbas, 2018). Proses elektrokoagulasi terdiri dari reaksi:

1. Reaksi elektrolitik di elektroda
2. Pembentukan koagulan
3. Adsorpsi polutan
4. Penghapusan koloid dengan sedimentasi atau pengapungan

Keefektifan elektrokoagulasi sangat dipengaruhi oleh parameter operasional yaitu pH awal, penambahan elektrolit garam, kerapatan arus, waktu elektrolisis dan konsentrasi awal limbah (Yusbarina, 2014).

#### 2.4.1 Proses Elektrokoagulasi

Elektrokoagulasi merupakan suatu proses yang melewatkan arus listrik ke dalam air. Itu dapat digunakan menjadi sebuah uji nyata dengan proses yang sangat efektif untuk pemindahan bahan pengkontaminasi yang terdapat dalam air. Elektrokoagulasi didasarkan pada sel elektrolitik yang terdiri dari perangkat yang dapat membuat langsung arus energi listrik (DC) untuk menghasilkan reaksi elektrolisis. Prinsip dasar dari elektrokoagulasi adalah reduksi dan oksidasi (redoks). Selain elektroda dan reaksi elektrokoagulasi, air juga ikut terlibat sebagai larutan elektrolit (Rusdianasari, 2017).

Proses elektrokoagulasi terjadi karena presipitasi elektrolitik dengan adanya medan listrik di antara dua elektroda sehingga terlepaslah ion Al dari anoda melalui reaksi oksidasi. Ion tersebut terhidrolisis menjadi hidroksida kompleks yang disebut koagulan, dan selanjutnya akan mendestabilkan kontaminan dalam limbah, yang kemudian akan terjadi adsorpsi oleh partikel-partikel bermuatan negatif atau koloid bermuatan negatif dari limbah yang ada di sekitarnya (Ridantami, 2016).

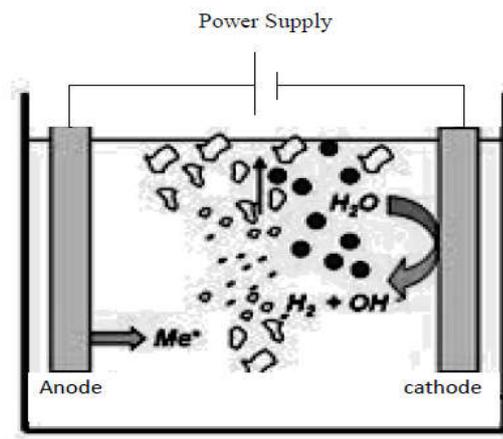
Pada umumnya, proses elektrokoagulasi terjadi karena transfer elektron dari satu elektroda ke elektroda lainnya, di mana aliran listrik yang disediakan oleh tegangan dialirkan di antara dua elektroda. Pada proses elektrokoagulasi tegangan yang biasa digunakan antara 0-60 V. Selain proses elektrokimia, pada proses elektrokoagulasi juga terjadi flotasi elektrolitik, karena gas yang terbentuk di katoda berupa gas hidrogen akan membuat aluminium hidroksida kompleks ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) yang terbentuk akan mengikat kontaminan dalam air limbah (Ridantami, 2016).

Hidroksida kompleks yang mengikat kontaminan membentuk flok. Adanya gas hidrogen menyebabkan flok yang terbentuk terangkat ke permukaan reaktor. Proses berjalan secara terus-menerus secara simultan sehingga, seiring berjalannya waktu, flok yang terbentuk akan semakin banyak dan saling

bertumbukan. Tumbukan antar-flok menyebabkan berat jenis flok meningkat sehingga sebagian akan jatuh ke dasar reaktor dalam bentuk *sludge* (Ridantami, 2016).

Pada suatu sel elektrokoagulasi, peristiwa oksidasi terjadi di elektroda (+) yaitu anoda, sedangkan reduksi terjadi di elektroda (-) yaitu katoda. Selain elektroda, air yang diolah juga terlibat dalam reaksi elektrokoagulasi sebagai larutan elektrolit. Elektrokoagulasi mampu menyisahkan berbagai jenis polutan dalam air, yaitu partikel tersuspensi, logam-logam berat, warna pada zat pewarna, dan berbagai zat berbahaya lainnya (Wiyanto, 2014).

Elektrokoagulasi diartikan juga sebagai proses pengolahan air dimana arus listrik diterapkan di elektroda untuk menghilangkan berbagai kontaminan air seperti pada Gambar 4. Elektrokoagulasi merupakan metode tanpa bahan kimia pada proses koagulasi dan mampu menurunkan parameter kekeruhan dan warna (Wiyanto, 2014).



Sumber: Wiyanto, 2014

Gambar 4. Proses elektrokoagulasi

Elektrokoagulasi mempunyai efisiensi yang tinggi dalam penghilangan kontaminan dan biaya operasi yang lebih rendah. Reaktorelektrokoagulasi adalah sel elektrokimia dimana anoda (biasanya menggunakan aluminium atau besi) digunakan sebagai agen koagulan. Secara simultan, gas-gas elektrolit dihasilkan (hidrogen pada katoda). Beberapa material elektroda dapat dibuat dari aluminium, besi, *stainless steel*, dan platina (Wiyanto, 2014).

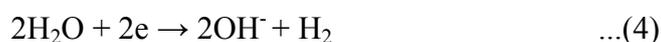
Apabila dalam suatu elektrolit ditempatkan dua elektroda dan dialiri arus listrik searah, maka akan terjadi peristiwa elektrokimia, yaitu gejala dekomposisi elektrolit, dimana ion positif (kation) bergerak ke katoda dan menerima elektron yang direduksi dan ion negatif (anion) bergerak ke anoda dan menyerahkan elektron yang dioksidasi (Wiyanto, 2014).

#### 1. Katoda

Ion  $H^+$  dari suatu asam akan direduksi menjadi gas hidrogen yang akan bebas sebagai gelembung-gelembung gas.



Larutan yang mengalami reduksi adalah pelarut (air) dan terbentuk gas hidrogen ( $H_2$ ) pada katoda.



#### 2. Anoda

Anoda terbuat dari logam aluminium akan teroksidasi.

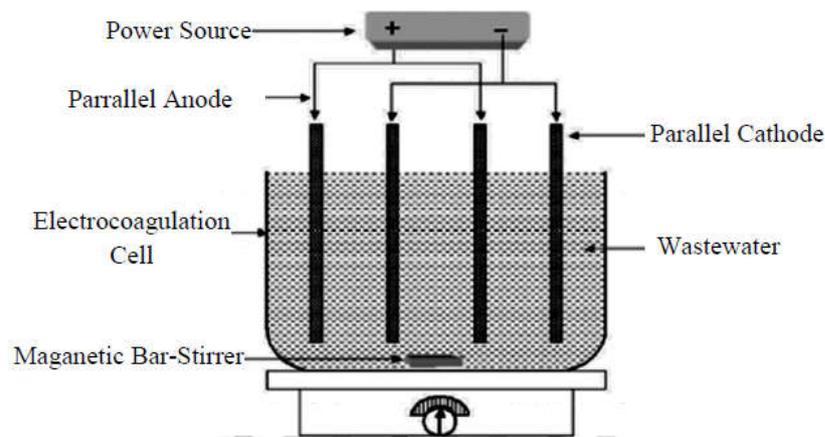


Ion  $OH^-$  dari basa akan mengalami oksidasi membentuk gas oksigen ( $O_2$ ),



Jika larutan mengandung ion-ion logam lain maka ion-ion logam akan direduksi menjadi logamnya dan terdapat pada batang katoda.

Reaksi tersebut menunjukkan bahwa pada anoda akan dihasilkan gas, buih, dan flok  $Al(OH)_3$ . Selanjutnya flok yang terbentuk akan mengikat unsur yang ada di dalam limbah, sehingga flok akan memiliki kecenderungan mengendap. Selanjutnya flok yang telah mengikat kontaminan tersebut diendapkan pada bak sedimentasi (proses sedimentasi) dan sisa buih akan terpisahkan pada unit filtrasi (Wiyanto, 2014).



Sumber: Wiyanto, 2014

Gambar 5. Skema alat elektrokoagulasi

Adapun zat-zat polutan yang dapat dijernihkan dengan proses elektrokoagulasi, diantaranya: aluminum, fosfat, arsen, bakteri, barium, kadmium, kobalt, tembaga, *chromium*, pestisida, magnesium, mangan, merkuri, nikel, silikon, *petroleum hydrocarbon* (Wiyanto, 2014).

#### 2.4.2 Kelebihan dan Kekurangan Proses Elektrokoagulasi

Kelebihan dari proses elektrokoagulasi yaitu (Bharath, 2018):

1. Elektrokoagulasi melibatkan peralatan yang sederhana dan mudah digunakan.
2. Elektrokoagulasi membutuhkan biaya investasi, perawatan, energi, dan perawatan yang rendah.
3. Elektrokoagulasi air limbah yang diolah menghasilkan air yang tidak berbau, jernih dan tidak berwarna.
4. Tidak ada bahan kimia tambahan yang diperlukan dalam proses elektrokoagulasi.
5. Gelembung gas yang dihasilkan pada saat elektrolisis dapat menghasilkan polutan ke atas larutan dimana ia dapat dipisahkan tanpa kesulitan.

6. Elektrokoagulasi memberikan rentang pH yang lebih efisien dan hasil netralisasi pH dan dapat digunakan dengan tepat sumber energi terbarukan.

Kekurangan dari proses elektrokoagulasi yaitu (Bharath, 2018):

1. Anoda korban dilarutkan ke dalam larutan karena oksidasi, dan perlu diganti secara teratur selang.
2. Konduktivitas suspensi air limbah harus tinggi.
3. Hidroksida kental mungkin larut dalam beberapa kasus.
4. Listrik mungkin tidak mudah tersedia dan mahal di beberapa daerah.
5. Efisiensi unit koagulasi elektro berkurang karena film oksida tahan yang dibentuk pada katoda.

## 2.5 Elektrolisis Air

Proses elektrolisis sendiri adalah peristiwa penguraian senyawa air ( $H_2O$ ) menjadi gas hidrogen ( $H_2$ ) dan oksigen ( $O_2$ ) dengan menggunakan arus listrik searah yang melalui air (Wahyono dkk, 2017). Proses mendapatkan gas hidrogen melalui metode elektrolisis ini cukup banyak menghasilkan gas hidrogen ( $H_2$ ) yaitu sekitar 99,9% (Putra, 2010). Metode elektrolisis air yang digunakan, pada prosesnya akan menghasilkan gas  $H_2$  dan  $O_2$  dengan reaksi sebagai berikut (Rusdianasari dkk, 2019).



### 2.5.1 Proses Elektrolisis Air

Elektrolisis terjadi ketika aliran arus listrik melalui senyawa ionik dan mengalami reaksi kimia. Larutan elektrolit dapat mengantar listrik karena mengandung ion-ion yang dapat bergerak bebas. Ion-ion tersebut yang menghantarkan arus listrik melalui larutan. Hantaran listrik melalui larutan elektrolit terjadi ketika sumber arus searah memberi muatan yang berbeda pada kedua elektroda yaitu katoda (-) dan anoda (+) (Wahyono dkk, 2017).

Pada katoda dua molekul air bereaksi dengan menangkap 2 elektron menghasilkan gas hidrogen ( $H_2$ ) dan 2 ion hidroksida ( $OH^-$ ). Sementara itu, pada anoda dua molekul air terurai menjadi gas oksigen dan melepaskan 4

ion ( $H^+$ ) serta mengalirkan elektron ke katoda. Ion-ion  $H^+$  dan  $OH^-$  mengalami netralisasi sehingga beberapa molekul air terbentuk kembali. Berikut reaksi yang terjadi pada proses elektrolisis air (Lamy, 2011).

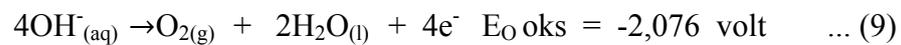
### 1. Reaksi pada anoda (+)

Reaksi yang terjadi pada kutup positif (anoda) adalah reaksi reduksi (Heni, 2014).

#### a. Untuk pH Air Asam



#### b. Untuk pH Air Basa dan Netral



Bila pada anoda menggunakan logam tak inert misalnya aluminium (Al). Aluminium akan dioksidasi diubah menjadi ionnya.



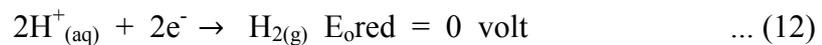
Bila pada anoda menggunakan logam inert misalnya platinum (Pt). Logam ini tidak akan teroksidasi. Yang teroksidasi adalah anion (ion-ion negatif) dalam air. Misalnya pada ion logam  $I^-$  reaksinya sebagai berikut:



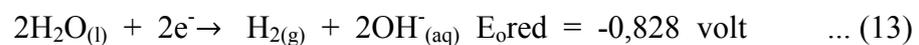
### 2. Reaksi pada katoda (-)

Reaksi yang terjadi pada kutup negatif (katoda) adalah reaksi reduksi (Heni, 2014).

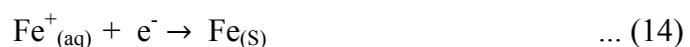
#### a. Untuk pH Air Asam



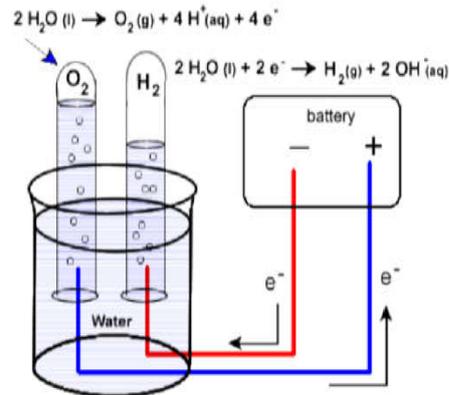
#### b. Untuk pH Air Basa dan Netral



Jika larutan mengandung ion-ion positif (kation), maka kation logam ini akan direduksi menjadi masing-masing logamnya dan logam yang terbentuk itu diendapkan pada permukaan batang katoda.



Untuk skema dan mekanisme reaksi elektrolisis ditunjukkan pada Gambar 6.

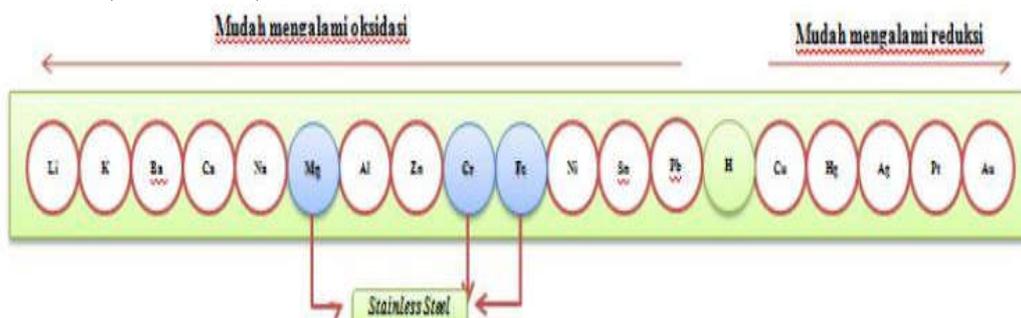


Sumber: Heni, 2014

Gambar 6. Elektrolisis air

### 2.5.2 Elektroda

Elektroda adalah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian atau media non-logam dari sebuah sirkuit (misal semi konduktor, elektrolit atau vakum). Elektroda adalah suatu sistem dua fase yang terdiri dari sebuah penghantar elektrolit (misalnya logam) dan sebuah penghantar ionik (larutan) (Saputro, dkk, 2014). Elektroda positif (+) disebut anoda sedangkan elektroda negatif (-) adalah katoda (Heni, 2014). Anoda ini didefinisikan sebagai elektroda dimana elektron datang dari sel elektrokimia dan oksidasi terjadi, dan katoda 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. Sel elektrolisis memerlukan energi untuk memompa elektron (Heni, 2014).



Sumber: Heni, 2014

Gambar 7. Deret volta

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 negative sumber arus mengarah pada katoda (sebab memerlukan elektron) dan kutub positif sumber arus tentunya mengarah pada anoda. Akibatnya, katoda bermuatan negative 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.

Pada proses elektrolisis, elektroda dialiri arus listrik (DC) sehingga senyawa pada elektrolit terurai membentuk ion-ion dan terjadi proses reduksi oksidasi sehingga menghasilkan gas. Proses elektrolisis diperlukan arus listrik yang tinggi agar proses reaksi kimia menjadi efektif dan efisien. Apabila ke dua kutub elektroda (katoda dan anoda) diberi arus listrik, elektroda tersebut akan saling berhubungan karena adanya larutan elektrolit sebagai penghantar listrik menyebabkan elektroda timbul gelembung gas. Proses elektrolisis dinyatakan bahwa atom oksigen membentuk sebuah ion bermuatan negatif ( $\text{OH}^-$ ) dan atom hidrogen membentuk sebuah ion bermuatan positif ( $\text{OH}^+$ ). Pada kutub positif menyebabkan ion  $\text{H}^+$  tertarik ke kutub katoda yang bermuatan negatif sehingga ion  $\text{H}^+$  menyatu pada katoda. Atom-atom hidrogen akan membentuk gas hidrogen dalam bentuk gelembung gas pada katoda yang melayang ke atas. Hal serupa terjadi pada ion  $\text{OH}^-$  yang menyatu pada anoda kemudian membentuk gas oksigen dalam bentuk gelembung gas (Heni, 2014).

Tabel 3. Nilai potensial nikel, krom, dan Aluminium

Kopel (oks/red)	Reaksi Katoda (reduksi)	$E^\circ$ , Potensial reduksi, volt (elektroda hidrogen standar=0)
$\text{Al}^{3+}/\text{Al}$	$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- \leftrightarrow \text{Al}$	-1,66
$\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}$	$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^- \leftrightarrow \text{Ni}$	-0,25
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/\text{Cr}^{3+}$	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6\text{e}^- \leftrightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	+1,33

Sumber: Heni, 2014

### 2.5.3 *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*) (Heni, 2014).



Sumber: Heni, 2014

Gambar 8. *Stainless steel*

#### 1. Sifat Fisik *Stainless Steel*

*Stainless steel* juga dikenal dengan nama lain seperti *CRES* atau baja tahankorosi, 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 (Heni, 2014):

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.
4. Tahan terhadap korosi.
5. Tidak bisa teroksidasi dengan mudah.
6. Tahan terhadap suhu tinggi

## 2. 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) (Heni, 2014).

Besi murni adalah unsure utama dari *stainless steel*. Besi murni 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 (Heni, 2014).

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 (Heni, 2014).

### 2.5.4 Faktor-Faktor Elektrolisis Air

Faktor-faktor yang mempengaruhi elektrolisis air antara lain Penggunaan katalisator, luas permukaan tercelup, sifat logam atau bahan elektroda, konsentrasi pereaksi, dan besar tegangan eksternal (Wahyono, dkk 2017).

#### 1. Penggunaan Katalisator

Katalisator berfungsi untuk mempermudah proses penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen karena ion-ion katalisator mampu mempengaruhi kesetabilan molekul air menjadi ion  $H^+$  dan  $OH^-$  yang

lebih mudah di elektrolisis karena terjadi penurunan energi aktivasi. Jenis katalisator yang digunakan dalam proses elektrolisis yaitu katalisator asam dan basa serta garam yang bersifat elektrolit, contohnya seperti NaOH, KOH, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, dan NaCl. Zat tersebut tidak mengalami perubahan yang kekal (tidak dikonsumsi dalam proses elektrolisis).

## 2. Luas Permukaan Tercelup

Semakin besar luasan menyentuh elektrolit maka semakin mempermudah suatu elektrolit untuk mentransfer elektronnya. Sehingga terjadi hubungan berbanding lurus. 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. Konsentrasi Pereaksi

Semakin besar konsentrasi suatu larutan pereaksi maka akan semakin besar pula laju reaksinya. Ini dikarenakan dengan persentase katalis yang semakin tinggi dapat mereduksi hambatan pada elektrolit. Sehingga transfer elektron dapat lebih cepat mengelektrolisis elektrolit. Terjadi hubungan sebanding terhadap persentase katalis dengan transfer elektron.

## 4. Besar Tegangan Eksternal

Semakin besar nilai tegangan yang diberikan akan semakin besar pula laju reaksinya. Ini dikarenakan dengan besarnya nilai tegangan dapat memperbesar arus yang dihantarkan oleh ion-ion bebas yang ada didalam larutan. Semakin besar arus listrik maka semakin banyak ion-ion yang terlibat dalam penghantaran arus listrik. Semakin banyak ion-ion yang terlibat dalam penghantaran arus listrik inilah yang membuat laju reaksi semakin besar.

### 2.5.5 Hukum Faraday Pada Sel Elektrokimia (Elektrolisis)

Hukum Faraday menyatakan bahwa massa yang dihasilkan dalam suatu sistem sel elektrolisis berbanding lurus dengan muatan listrik yang mengalir dalam sel tersebut. Menurut faraday 1 mol elektron mengandung 96500 C,

jadi harga 1 F adalah 96500 C/mol elektron. Hukum Faraday 1 menyatakan bahwa harga untuk muatan listrik yaitu:

$$q = n \times F \quad \dots(17)$$

Dimana:

q = Muatan listrik (C)

n = Mol elektron (mol)

F = Ketetapan faraday (96500 C/mol)

Besarnya muatan listrik disuatu titik kawat jika arus listrik  $i$  (Ampere) melewati selama  $t$  (detik), maka secara matematis dapat dirumuskan:

$$q = i \times t \quad \dots(18)$$

Dimana:

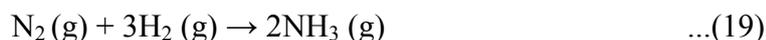
q = Muatan listrik (C)

i = Arus listrik (Ampere)

t = Waktu (detik)

#### 2.5.6 Perbandingan Stoikiometri Pada Reaksi

Menurut hukum Avogadro pada temperatur dan tekanan yang sama, volume yang sama dari semua gas mengandung jumlah molekul yang sama, sebagai contoh:



Jumlah molekul  $\text{H}_2$  yang bereaksi dan jumlah molekul  $\text{NH}_3$  yang terbentuk jika reaksi berlangsung pada temperature dan tekanan yang sama sesuai dengan perbandingan koefisiennya, maka dirumuskan dengan persamaan 3.

$$\text{Mol H}_2 \times \text{Koef H}_2 = \text{mol NH}_3 \times \text{Koef NH}_3 \quad \dots(20)$$

#### 2.5.7 Reaktor *Oxyhydrogen* (HHO)

Alat elektrolisis air yang digunakan pada penelitian ini yaitu reaktor *oxyhydrogen*. Alat ini disebut reaktor *oxyhydrogen* karena menghasilkan gas HHO. Reaktor *oxyhydrogen* terdiri dari tabung gas hidrogen dan oksigen, reaktor tempat elektrolisis yang dilengkapi dengan elektroda. Elektroda terdiri dari lima pasang plat yang disusun secara *parallel*. Gas hidrogen ( $\text{H}_2$ ) yang dihasilkan akan disalurkan ke reservoir air untuk mengikat kandungan air yang masih

ada dalam gas hidrogen karena gas yang dihasilkan tidak sepenuhnya murni (Heni, 2014).

Gas hidrogen yang dihasilkan dapat diambil dengan membuka katup bukaan di bagian atas dari tabung penyimpanan. Tekanan gas di dalam tabung ditunjukkan dengan pengukur tekanan di atas tabung sebagai indikator tekanan gas dalam tabung (Heni, 2014).

#### 2.5.8 Gas *Oxyhydrogen* (HHO)

*Oxyhydrogen* atau juga dikenal dengan nama Hidrogen Hidrogen Oksigen (HHO) adalah teknologi yang sengaja dibuat menjadi teknologi *open source* tanpa paten. Strategi ini dipilih oleh sang penemu karena niat tulus untuk membantu menyelamatkan bumi dari polusi yang tidak terkendali sekaligus membantu warga dunia untuk mendapatkan bahan bakar murah dan mudah didapat. Gas HHO atau *brown gas* merupakan hasil dari elektrolisa air berupa 2 atom hidrogen dan 1 atom oksigen (Heni, 2014).

Gas campuran hidrogen dan oksigen (HHO) secara sempurna mampu dijadikan bahan bakar yang menggerakkan mesin. Menurut anti *global warming*, jika gas HHO dimasukkan ke dalam ruang bakar, maka ledakannya akan semakin kuat, dan hasil pembakaran menjadi semakin bersih karena bensin yang tidak terbakar akan habis terbakar sehingga dapat menghemat BBM, selain tenaga yang dihasilkan lebih besar dan menurunkan emisi udara bersih (Heni, 2014).

#### 2.5.9 Perhitungan Volume Gas Hidrogen (H<sub>2</sub>) yang Dihasilkan

Perhitungan volume gas hidrogen (H<sub>2</sub>) yang didapat pada penelitian ini menggunakan rumus hukum gas ideal (Heni, 2014):

$$PV = nRT$$

$$V = \frac{nRT}{P} \quad \dots (21)$$

Dimana:

P: Tekanan tabung penampung gas (atm)

V: Volume (L)

n: Mol gas H<sub>2</sub>

R: Konstanta gas umum (0,082057 L·atm/mol K)

T: Suhu (K)

- Tekanan Absolute dan Tekanan Terukur

Pembacaan semua alat ukur tekanan bukanlah merupakan tekanan fluida yang sebenarnya, tetapi menunjukkan perbedaan tekanan antara tekanan fluida dengan tekanan atmosfer. Tekanan yang terbaca pada alat ukur biasanya disebut tekanan terukur dan tekanan manometer, sedangkan tekanan yang sebenarnya disebut tekanan absolute atau tekanan mutlak. Tekanan absolute secara matematis, dapat dituliskan:

$$P \text{ absolute} = P \text{ udara} + P \text{ terukur} \quad \dots (22)$$

## 2.6 Elektrolit

Elektrolit adalah suatu zat yang larut atau terurai ke dalam bentuk ion-ion dan selanjutnya larutan menjadi konduktor elektrik, ion-ion merupakan atom-atom bermuatan elektrik. Elektrolit bisa berupa air, asam, basa atau berupa senyawa kimia lainnya. Elektrolit umumnya berbentuk asam, basa atau garam. Beberapa gas tertentu dapat berfungsi sebagai elektrolit pada kondisi tertentu misalnya pada suhu tinggi atau tekanan rendah. Elektrolit kuat identik dengan asam, basa, dan garam kuat (Heni, 2014).

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 (Heni, 2014).

Berdasarkan daya hantarnya larutan elektrolit terbagi menjadi tiga (Heni, 2014) yaitu:

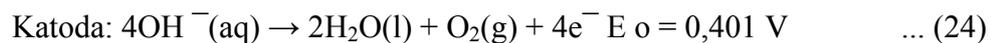
1. Larutan elektrolit kuat

Larutan elektrolit kuat adalah larutan yang banyak menghasilkan ion-ion karena terurai sempurna, maka harga derajat ionisasi ( $\alpha$ ) = 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 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  $\text{H}_2\text{S}$ .

## 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.

### 2.7 Katalis 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 di elektrolisis,

diduga semakin besar pula peluang untuk menghasilkan gas hidrogen dan oksigen dalam jumlah banyak. Begitu pula pengaruh arus yang diberikan semakin banyak gelembung-gelembung yang muncul dari permukaan katoda. Gelembung-gelembung tersebut diduga merupakan proses pemutusan ikatan antara H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> di dalam senyawa air sehingga H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> semakin banyak (Putra, 2010)

## 2.8 Gas Hidrogen (H<sub>2</sub>)

Hidrogen adalah unsure kimia pada tabel periodik yang memiliki simbol H dan nomor atom 1. Hidrogen dalam bahasa latin yaitu *hydrogenium* dan dari bahasa Yunani hidrogen berasal dari kata *hydro* yang berarti air dan genes yang berarti membentuk air (Heni, 2014).

Hidrogen merupakan unsur paling melimpah dengan persentase kira-kira 75% dari massa unsur alam semesta. Tidak seperti halnya energi fosil, hidrogen tidak akan habis, karena hidrogen merupakan unsur yang paling banyak ditemukan di alam (Setiyono, 2011). Dari analisis *spectrum* sinar yang di pancarkan oleh bintang, disimpulkan bahwa bintang terutama terdiri dari hidrogen. Hidrogen sangat reaktif, sehingga hydrogen di bumi banyak di temui dalam bentuk senyawa air dengan komposisi hydrogen sebanyak 11,1% berat, hidrokarbon misalnya gas alam 25%, minyak bumi 14% dan karbohidrat, misalnya patih 6% (Putra, 2010).

### 2.8.1 Karakteristik Gas Hidrogen (H<sub>2</sub>)

Gas hidrogen adalah gas yang tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa. Gas hidrogen bersifat mudah terbakar pada tekanan dan suhu normal. Saat terbakar hydrogen tidak menghasilkan emisi gas dan ramah lingkungan (Setiyono, 2011). Dan akan terbakar pada konsentrasi rendah 4% H<sub>2</sub> di udara bebas. Entalpi pembakaran hydrogen adalah -286 kJ/mol. Hidrogen terbakar menurut persamaan kimia (Heni, 2014):



Ketika dicampur dengan oksigen dalam berbagai perbandingan, hidrogen meledak seketika disulut dengan api dan akan meledak sendiri pada temperatur

560°C. Lidah api hasil pembakaran hidrogen-oksigen murni memancarkan gelombang ultraviolet dan hampir tidak terlihat dengan mata telanjang. Oleh karena itu, sangatlah sulit mendeteksi terjadinya kebocoran hidrogen secara visual.

Tabel 4. Sifat fisik gas hidrogen

Parameter	Keterangan
Titik lebur	259,14°C
Titik didih	252,87 °C
Warna	Tidak berwarna
Bau	Tidak berbau
Densitas	0,08988 g/cm <sup>3</sup> pada 293 K
Kapasitas panas 14,304 J/g0K	Kapasitas panas 14,304 J/g0K

Sumber: Heni, 2014

Gas hidrogen atau H<sub>2</sub> mempunyai kandungan energi per satuan berat tertinggi, dibandingkan dengan bahan bakar manapun. Gas hidrogen merupakan unsur yang sangat aktif secara kimia, sehingga jarang sekali ditemukan dalam bentuk bebas. Di alam, gas hidrogen terdapat dalam bentuk senyawa dengan unsur lain, seperti dengan oksigen dalam air atau dengan karbon dalam metana. Sehingga untuk dapat memanfaatkannya, hidrogen harus dipisahkan terlebih dahulu dari senyawanya agar dapat digunakan sebagai bahan bakar, dimana gas hidrogen (H<sub>2</sub>) bisa didapatkan dari hasil sumber energi terbarukan (Heni, 2014).

### 2.8.2 Hidrogen Sebagai Energi Baru Terbarukan (EBT)

Energi Terbarukan (*Renewable Energy*) adalah sumber energi yang tersedia di alam secara melimpah, antara lain berupa air, panas bumi, biomassa, cahaya dan panas matahari dan sebagainya, baik secara langsung maupun tidak langsung dimanfaatkan sebagai energi (IPB, 2018). Menurut Kementerian ESDM tahun 2008 potensi alam sebagai energi terbarukan pada saat ini belum seluruhnya digunakan secara massal salah satu contohnya yaitu energi air, maka dari itu energi terbarukan ini harus dikembangkan menjadi energi baru terbarukan (EBT) agar dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif. Saat ini pengembangan EBT mengacu kepada Perpres No. 5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional.

Berdasarkan hal tersebut salah satu sumber energi terbarukan yaitu air dapat dimanfaatkan menjadi gas hidrogen (H<sub>2</sub>), sehingga untuk dapat

memanfaatkannya, hidrogen harus dipisahkan terlebih dahulu dari senyawanya agar dapat digunakan sebagai bahan bakar. Hidrogen merupakan energi yang ramah lingkungan (Roihatin, dkk, 2013) dan menjadi perhatian besar pada banyak negara, terutama di negara maju. Hidrogen diproyeksikan oleh banyak negara akan menjadi bahan bakar masa depan yang lebih ramah lingkungan dan lebih efisien. Dimana suplai energi yang dihasilkan sangat bersih karena hanya menghasilkan uap air sebagai emisi selama berlangsungnya proses (Anies, 2016). Contohnya hidrogen dibutuhkan untuk salah satu metode pembuatan sumber energi, yaitu *fuel cell*. Dimana energi kimia dari reaksi antara hidrogen dengan oksigen dikonversi menjadi energi listrik menggunakan sebuah alat baterai *fuel cell* (Nasution, 2017).

### 2.8.3 Hidrogen Sebagai Bahan Bakar

Keuntungan jika hidrogen digunakan sebagai bahan bakar yaitu (Putra, 2010):

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 kurang menghasilkan polusi. Polutan yang terjadi hanya oksida nitrogen yang terjadi jika suhu pembakaran sangat tinggi.
4. Mesin yang menggunakan hidrogen mudah diubah agar dapat menggunakan hidrogen sebagai bahan bakar.

Alasan utama mengapa hidrogen masih belum digunakan secara besar-besaran sebagai sumber energi yaitu:

1. Produksi hidrogen masih cukup mahal
2. Kesukaran dalam menyimpan

Hidrogen dapat digunakan sebagai bahan bakar sebab:

1. Dapat terbakar dalam oksigen membentuk air dan menghasilkan energi bersama oksigen dapat digunakan dalam sel bahan bakar menghasilkan energi listrik.
2. Pembakaran hydrogen dapat menghasilkan kalor sebanyak 286 kJ/mol

hidrogen. Pada tabel dibawah ini dapat dibandingkan kalor yang dihasilkan oleh hydrogen dengan kalor yang dihasilkan oleh bahan bakar lain.

#### 2.8.4 Penyimpanan Gas Hidrogen (H<sub>2</sub>)

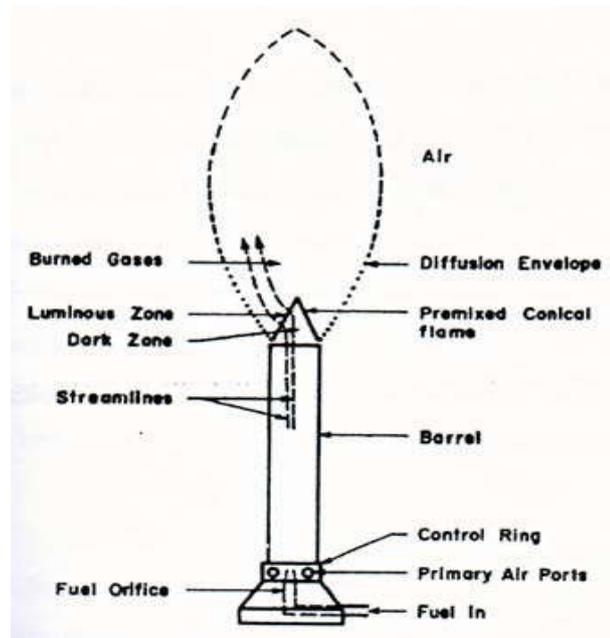
Hidrogen dapat disimpan dengan cara berikut (Putra, 2010):

1. Hidrogen dicairkan dan disimpan pada suhu  $-253^{\circ}\text{C}$ . Dalam hal ini memerlukan tangki khusus dan mahal. Hidrogen cair perlahan-lahan menguap dan dapat meledak. Energi untuk mencairkan hidrogen kira-kira 40% energi yang dihasilkan pada pembakaran.
2. Dapat disimpan dalam tangki berukuran tinggi kira-kira 30 kali dibandingkan tangki berisi bensin yang menghasilkan energi yang sama.
3. Dapat disimpan dalam aliansi logam. Hidrogen dapat menempati rongga diantara atom aliansi logam dan membentuk hidrida (hidrida interstisi). Hidrida logam ini aman untuk pengisian hidrogen karena tidak meledak jikagas dibakar.

Untuk menyimpan sejumlah hidrogen yang dapat menghasilkan energi sebanyak energi yang dihasilkan dalam tangki bensin rata-rata diperlukan 1000 kg aliansi besi titanium.

### 2.9 Nyala Api Premix dan Difusi

*Premixed Flame* atau nyala api premix adalah nyala api dengan bahan bakar dan udara yang tercampur sempurna terlebih dahulu kemudian terjadi reaksi pembakaran yang dapat juga didefinisikan sebagai keadaan kesetimbangan dari temperatur nyala adiabatik dan kecepatan nyala. Nyala api ini dipakai pada banyak area seperti pada kompor di rumah tangga, industri dan penelitian seperti pada bunsen burner. Nyala api pada bunsen burner adalah salah satu contoh dari nyala api laminar premix. Seperti pada gambar 9 adalah gambar ilustrasi skema dari bunsen burner dan api yang di produksi. Pada nyala bagian yang kaya bahan bakar pada daerah dalam terdapat nyala api premix yang dikelilingi dengan nyala api difusi pada bagian luar. Nyala api difusi tahap berikutnya adalah nyala hasil pembakaran ketika karbon monoksida dan hidrogen dihasilkan dari bagian dalam yang kaya bahan bakar bereaksi dengan udara sekitar (Randonuwu, 2012).



*Sumber: Randonuwu, 2012*

Gambar 9. Struktur api bunsen burner