

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah

Limbah adalah bahan buangan tidak terpakai yang berdampak negatif terhadap masyarakat jika tidak dikelola dengan baik. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 101/2014 Limbah didefinisikan sebagai sisa atau buangan dari suatu usaha dan/atau kegiatan manusia.

2.1.1 Limbah Cair

Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No. 8 Tahun 2012 mendefinisikan limbah cair adalah limbah dalam wujud cair yang dihasilkan oleh suatu kegiatan/usaha yang dibuang ke lingkungan hidup dan diduga dapat menurunkan kualitas lingkungan hidup.

Sumber air limbah dikelompokkan menjadi tiga kategori, yaitu:

1. Air limbah domestik atau rumah tangga

Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No. 8 Tahun 2012 mendefinisikan air limbah domestik atau rumah tangga sebagai air limbah yang berasal dari usaha dan/atau kegiatan pemukiman (*real estate*), rumah makan (*reastaurant*), perkantoran, perniagaan, apartemen dan asrama.

2. Air limbah industri

Limbah cair industri adalah buangan hasil proses/sisa dari suatu kegiatan/usaha yang berwujud cair dimana kehadirannya pada suatu saat dan tempat tidak dikehendaki lingkungannya karena tidak mempunyai nilai ekonomis sehingga cenderung untuk dibuang (Kencanawati, 2016)

3. Infiltrasi

Infiltrasi adalah masuknya air tanah ke dalam saluran air buangan melalui sambungan pipa, pipa bocor, atau dinding manhole, sedangkan inflow adalah masuknya aliran air permukaan melalui tutup manhole, atap, area drainase, cross connection saluran air hujan maupun air buangan (Pratama, 2016)

2.1.2 Limbah Cair Terpadu

Limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) adalah sisa suatu usaha dan atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan atau beracun yang karena sifat dan atau konsentrasinya dan atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung dapat mencemarkan dan atau merusak lingkungan hidup, dan atau dapat membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lainnya (PP No. 101 tahun 2014).

Bahan berbahaya dan beracun (B3) adalah bahan yang karena sifat dan atau konsentrasinya dan atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan atau merusak lingkungan hidup, dan atau membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lainnya. Limbah B3 tidak saja dihasilkan atau digunakan oleh kegiatan industri tetapi juga dari berbagai aktifitas manusia lainnya misalnya dari kegiatan pertanian, rumah tangga dan rumah sakit. Untuk itulah perlu dikelola secara benar sehingga tidak mencemari dan mengganggu kesehatan manusia. Limbah terpadu merupakan limbah tampung yang terdiri dari limbah-limbah domestik dan non-domestik. Dalam limbah terpadu terjadi pencampuran air limbah dari bermacam-macam sumber dengan karakteristik air yang beragam, sehingga bila dibuang secara langsung dapat menimbulkan pencemaran terhadap lingkungan. Limbah terpadu dibagi menjadi dua bagian berdasarkan sumbernya yaitu limbah yang bersumber domestik (limbah rumah tangga) dan limbah yang berasal dari non-domestik (pabrik, industri dan limbah pertanian).

Berdasarkan uraian tersebut, maka diperlukan suatu usaha untuk mengolah limbah cair terpadu agar dapat diminimalisir dampaknya terhadap lingkungan. Selain itu dimungkinkan adanya penggunaan kembali limbah cair terpadu sehingga dapat lebih bermanfaat, maka dari itu limbah cair terpadu dimanfaatkan untuk memproduksi gas hidrogen (H_2). Limbah cair terpadu sebelumnya dilakukan proses pengolahan limbah terlebih dahulu untuk mendapatkan air bersih, sebelum diolah menjadi gas hidrogen (H_2). Setelah didapatkan air bersih, selanjutnya air ini digunakan sebagai umpan alat Oxyhidrogen Reaktor untuk memproduksi gas Hidrogen (H_2).

Terdapat aturan kadar maksimum air yang tercemar di dalam peraturan Gubernur Sumsel Nomor 8 Tahun 2012 tentang baku mutu air limbah dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Baku Mutu Limbah Cair Campuran Berdasarkan Pergub Sumsel

Parameter	Satuan	Kadar maksimum	Beban Pencemaran maksimum (gr/m ² produk)	Sumber
pH	-	6-9	-	Baku mutu limbah cair untuk limbah domestik
COD	(mg/L)	150	-	Baku mutu limbah cair untuk limbah industri tekstil
BOD	(mg/L)	100	-	Baku mutu limbah cair untuk limbah domestik
TSS	(mg/L)	100	-	Baku mutu limbah cair untuk limbah domestik
Pb (Timbal)	(mg/L)	0,1	0,002	Baku mutu limbah cair untuk industri pelapis logam
PO ₄ (Fosfat)	(mg/L)	2	0,002	Baku mutu limbah cair untuk industri sabun dan deterjen
Cr (Kromium)	(mg/L)	0,5	0,010	Baku mutu limbah cair untuk industri pelapis logam

Sumber: Peraturan Gubernur Sumsel No. 8 Tahun 12

2.2 Elektrokoagulasi

Proses elektrokoagulasi merupakan gabungan dari proses elektrokimia dan proses koagulasi-flokulasi dan elektrokimia. Proses ini dapat menjadi pilihan pengolahan limbah B3 cair fase cair alternatif dari metode pengolahan yang lain (Pratama, 2016). Alat yang digunakan pada proses pengolahan air limbah menggunakan metode elektrokoagulasi dapat dilihat pada Gambar 1.



Sumber: Dokumentasi Pribadi 2020

Gambar 1. Alat Elektrokoagulasi

Elektrokoagulasi merupakan metode pengolahan air secara elektrokimia dimana pada anoda terjadi pelepasan koagulan aktif berupa ion logam (biasanya

aluminium atau besi) ke dalam larutan, sedangkan pada katoda terjadi reaksi elektrolisis berupa pelepasan gas hidrogen (Holt, 2012), namun menurut Pratama (2016) elektrokoagulasi adalah proses kompleks yang melibatkan fenomena kimia dan fisika dengan menggunakan elektroda untuk menghasilkan ion yang digunakan untuk mengolah air limbah.

Koagulasi dapat diperoleh dengan cara kimia maupun listrik. Koagulasi kimiawi sekarang ini menjadi kurang diminati karena biaya pengolahan yang tinggi, menghasilkan volume lumpur yang besar, pengelompokan logam hidroksida sebagai limbah berbahaya, dan biaya untuk bahan kimia yang membantu koagulasi.

Koagulasi kimiawi telah digunakan selama puluhan tahun untuk mendestabilisasi suspensi dan untuk membantu pengendapan spesies logam yang terlarut. Alum, lime, dan/atau polimer-polimer lain adalah koagulan-koagulan kimia yang sering digunakan. Proses ini, bagaimanapun, cenderung menghasilkan sejumlah besar lumpur dengan kandungan ikatan air yang tinggi yang dapat memperlambat proses filtrasi dan mempersulit proses penghilangan air (*dewater*). Proses ini juga cenderung meningkatkan kandungan TDS dalam effluent, sehingga menyebabkan proses ini tidak dapat digunakan dalam aplikasi industri (Woytowich, 2010)

Elektrokoagulasi dapat menetralkan muatan-muatan partikel dan ion, sehingga bisa mengendapkan kontaminan-kontaminan, menurunkan konsentrasi lebih rendah dari yang bisa dicapai dengan pengendapan kimiawi, dan dapat menggantikan dan/atau mengurangi penggunaan bahan-bahan kimia yang mahal (garam logam, polimer).

Meskipun mekanisme elektrokoagulasi mirip dengan koagulasi kimiawi dalam hal spesies kation yang berperan dalam netralisasi muatan-muatan permukaan, tetapi karakteristik flok yang dihasilkan oleh elektrokoagulasi berbeda secara dramatis dengan flok yang dihasilkan oleh koagulasi kimiawi. Flok dari elektrokoagulasi cenderung mengandung sedikit ikatan air, lebih stabil dan lebih mudah disaring (Woytowich, 2010).

Saat ini penggunaan teknologi elektrokoagulasi dikembangkan untuk meningkatkan kualitas efluen air limbah. Elektrokoagulasi digunakan untuk

mengolah efluen dari beberapa air limbah yang berasal dari industri makanan, limbah tekstil, limbah rumah tangga, limbah yang mengandung senyawa arsenik, air yang mengandung fluorida, dan air yang mengandung partikel yang sangat halus, bentonit dan kaolit.

Elektrokoagulasi mampu mengolah berbagai polutan termasuk padatan tersuspensi, logam berat, tinta, bahan organik (seperti limbah domestik), minyak dan lemak, ion, dan radionuklida. Karakteristik polutan mempengaruhi mekanisme pengolahan, misalnya polutan berbentuk ion akan diturunkan melalui proses presipitasi, sedangkan padatan tersuspensi yang bermuatan akan diabsorpsi ke koagulan yang bermuatan (Nouri, 2010).

2.2.1 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).

Adapun prinsip kerja dari sistem ini adalah dengan menggunakan dua buah lempeng elektroda yang dimasukkan ke dalam bejana yang telah diisi dengan air yang akan dijernihkan. Selanjutnya kedua elektroda dialiri arus listrik searah sehingga terjadilah proses elektrokimia yang menyebabkan kation bergerak menuju katoda dan anion bergerak menuju anoda. Pada akhirnya akan terbentuk suatu flokulan yang akan mengikat kontaminan maupun partikel-partikel dari air baku tersebut (Pratama, 2016)

Interaksi-interaksi yang terjadi dalam larutan, yaitu:

- a. Migrasi menuju muatan elektroda yang berlawanan dan netralisasi muatan;
- b. Kation ataupun ion hidrosil membentuk sebuah endapan dengan pengotor;
- c. Interaksi kation logam dengan OH^- membentuk sebuah hidroksida dengan sifat adsorbs yang tinggi selanjutnya berikatan dengan polutan (*bridge coagulation*);

- d. Senyawa hidroksida yang terbentuk membentuk gumpalan (flok) yang lebih besar;
- e. Gas hidrogen membantu flotasi dengan membawa polutan ke lapisan bulk flok di permukaan cairan (Holt, 2012).

2.2.2 Reaksi pada Elektrokoagulasi

Terdapat dua macam reaksi pada saat proses elektrokoagulasi berlangsung, yaitu reaksi oksidasi dan reduksi yang terjadi pada plat yang berbeda, maka berikut ini penjelasan mengenai kedua reaksi tersebut yang terjadi pada anoda maupun katoda

1. Reaksi pada Katoda

Pada katoda akan terjadi reaksi-reaksi reduksi terhadap kation, yang termasuk dalam kation ini adalah ion H⁺ dan ion ion logam.

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



- b. Jika larutan mengandung ion-ion logam alkali, alkali tanah, maka ion-ion ini tidak dapat direduksi dari larutan yang mengalami reduksi adalah pelarut (air) dan terbentuk gas hidrogen (H₂) pada katoda.



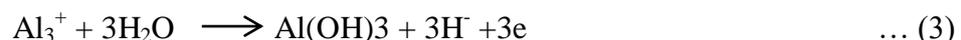
Dari daftar E_o (deret potensial logam/deret volta), maka akan diketahui bahwa reduksi terhadap air limbah lebih mudah berlangsung dari pada reduksi terhadap pelarutnya (air).

K, Ba, Ca, Na, Mg, Al, Zn, Cr, Fe, Cd, Co, Ni, Sn, Pb, Sb, Bi, Cu, Hg, Ag, Pt, Au

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

2. Reaksi pada anoda

- a. Anoda yang digunakan adalah logam Aluminium akan teroksidasi:



- Ion OH⁻ dari basa akan mengalami oksidasi membentuk gas oksigen (O₂):



- Anion-anion lain (SO₄⁻, SO₃⁻) tidak dapat dioksidasi dari larutan, yang

akan mengalami oksidasi adalah pelarutnya (H_2O) membentuk gas oksigen (O_2) pada anoda:



Dari reaksi-reaksi yang terjadi dalam proses elektrokoagulasi, maka pada katoda akan dihasilkan gas hidrogen dan reaksi ion logamnya. Sedang pada anoda akan dihasilkan gas halogen dan pengendapan flok-flok yang terbentuk.

Proses elektrokoagulasi dilakukan pada tangki elektrolisis yang di dalamnya terdapat katoda dan anoda sebagai penghantar arus listrik searah yang disebut elektroda, yang tercelup dalam larutan limbah sebagai elektrolit. Dalam proses elektrokoagulasi ini menghasilkan gas yang berupa gelembung-gelembung gas, maka kotoran-kotoran yang terbentuk yang ada dalam air akan terangkat ke atas permukaan air. Flok-flok terbentuk ternyata mempunyai ukuran yang relatif kecil, sehingga flok-flok yang terbentuk tadi lama kelamaan akan bertambah besar ukurannya. Setelah air mengalami elektrokoagulasi, kemudian dilakukan proses pengendapan, yaitu berfungsi untuk mengendapkan partikel-partikel atau flok yang terbentuk tadi. Setelah flok-flok yang terbentuk mengendap di dasar tangki produk 1, air limbah yang terdapat diatas flok yang mengendap dialirkan menuju membran yang akan menyaring air limbah tersebut, kemudian efluen yang dihasilkan akan ditampung pada tangki produk akhir, yang selanjutnya air bersih yang dihasilkan dari proses elektrokoagulasi akan digunakan untuk air umpan produksi gas hidrogen (H_2).

2.2.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Elektrokoagulasi

Beberapa faktor yang mempengaruhi proses elektrokoagulasi antara lain:

1. Kerapatan Arus Listrik

Kenaikan kerapatan arus akan mempercepat ion bermuatan membentuk flok. Jumlah arus listrik yang mengalir berbanding lurus dengan bahan yang dihasilkan selama proses.

2. Waktu

Menurut hukum Faraday, jumlah muatan yang mengalir selama proses elektrolisis sebanding dengan jumlah waktu kontak yang digunakan.

3. Tegangan

Arus listrik yang menghasilkan perubahan kimia mengalir melalui medium (logam atau elektrolit) disebabkan adanya beda potensial, karena tahanan listrik pada medium lebih besar dari logam, maka yang perlu diperhatikan adalah mediumnya dan batas antar logam dengan medium.

4. Kadar Keasaman (pH)

Pada proses elektrokoagulasi terjadi proses elektrolisis air yang menghasilkan gas hydrogen dan ion hidroksida, maka dengan semakin lama waktu kontak yang digunakan, maka semakin cepat juga pembentukan gas hydrogen dan ion hidroksida, apabila ion hidroksida yang dihasilkan lebih banyak maka akan menaikkan pH dalam larutan.

5. Ketebalan Plat

Semakin tebal plat elektroda yang digunakan, daya tarik elektrostatisnya dalam mereduksi dan mengoksidasi ion logam dalam larutan akan semakin besar.

6. Jarak antar Elektroda

Semakin besar jaraknya semakin besar hambatannya, sehingga semakin kecil arus yang mengalir.

2.2.4 Kelebihan dan Kekurangan Proses Elektrokoagulasi

1. Kelebihan dari proses elektrokoagulasi yaitu (Bharath, 2018):

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

- Elektrokoagulasi memberikan rentang pH yang lebih efisien dan hasil netralisasi pH dan dapat digunakan dengan tepat sumber energi terbarukan.
2. Kekurangan dari proses elektrokoagulasi yaitu (Bharath, 2018):
- Anoda korban dilarutkan ke dalam larutan karena oksidasi, dan perlu diganti secara teratur selang.
 - Konduktivitas suspensi air limbah harus tinggi.
 - Hidroksida kental mungkin larut dalam beberapa kasus.
 - Listrik mungkin tidak mudah tersedia dan mahal di beberapa daerah.
 - Efisiensi unit koagulasi elektro berkurang karena film oksida tahan yang dibentuk pada katoda.

2.3 Elektrolisis

Elektrolisis adalah peristiwa penguraian elektrolit dalam sel elektrolisis oleh arus listrik. Dalam sel volta/galvani, reaksi oksidasi reduksi berlangsung dengan spontan, dan energi kimia yang menyertai reaksi kimia diubah menjadi energi listrik. Sedangkan elektrolisis merupakan reaksi kebalikan dari sel volta/galvani yang potensial selnya negatif atau dengan kata lain, dalam keadaan normal tidak akan terjadi reaksi dan reaksi dapat terjadi bila diinduksi dengan energi listrik dari luar (Sari, 2014).

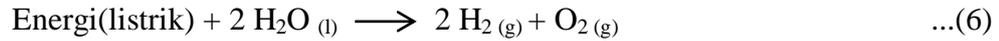
Elektrolisis merupakan proses kimia yang mengubah energi listrik menjadi energi kimia. Proses elektrolisis memisahkan molekul air menjadi gas hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2) dengan cara mengalirkan arus listrik ke elektroda tempat larutan elektrolit (air dan katalis) berada. Reaksi elektrolisis tergolong reaksi redoks tidak spontan, reaksi itu dapat berlangsung karena pengaruh energi listrik (Rusminto, 2009). Proses ini ditemukan oleh Faraday tahun 1820.

2.3.1 Elektrolisis Air

Elektrolisis air adalah peristiwa penguraian senyawa air (H_2O) menjadi oksigen (O_2) dan hidrogen gas (H_2) dengan menggunakan arus listrik yang melalui air (Wahyono dkk, 2017). Pada katoda, dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron, tereduksi menjadi gas H_2 dan ion hidroksida (OH^-).

Sementara itu pada anoda, dua molekul air lain terurai menjadi gas oksigen (O_2), melepaskan 4 ion H^+ serta mengalirkan elektron ke katoda. Ion H^+ dan OH^- mengalami netralisasi sehingga terbentuk kembali beberapa molekul air.

Proses ini akan mengurai air menjadi unsur-unsur pembentuknya. Reaksi yang terjadi pada proses elektrolisis adalah sebagai berikut berikut:



Terjadi tekanan listrik pada elektroda negatif (katoda) untuk mendorong elektron ke dalam air dan pada anoda (elektroda positif) terjadi penyerapan elektron. Molekul air dekat katoda terbagi menjadi ion hidrogen positif (H^+) dan ion hidroksida (OH^-).



H^+ merupakan proton terbuka, bebas untuk menangkap elektron e^- dari katoda, kemudian menjadi atom hidrogen biasa dan netral.



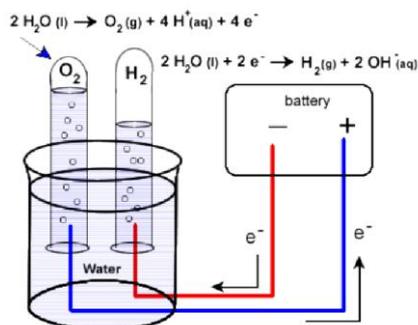
Atom hidrogen ini berkumpul dengan atom hidrogen lain dan membentuk molekul gas dalam bentuk gelembung dan kemudian naik ke permukaan.



Elektroda positif telah menyebabkan ion hidroksida (OH^-) untuk bergerak ke anoda. Ketika mencapai anoda, anoda melepas kelebihan elektron yang diambil oleh hidroksida dari atom hidrogen sebelumnya, kemudian ion hidroksida bergabung dengan molekul hidroksida yang lain dan membentuk 1 molekul oksigen dan 2 molekul air:



Molekul oksigen ini sangat stabil dan kemudian gelembungnya naik ke permukaan. Demikian seterusnya dan terjadi pengulangan proses. Reaksi-reaksi di katoda (reduksi) hanya bergantung pada jenis kation dalam larutan. Jika kation berasal dari logam dengan potensial elektroda lebih rendah maka air yang akan tereduksi.



Sumber: Apriliana, 2014

Gambar 2. Elektrolisis Air

Gas hidrogen dan oksigen yang dihasilkan dari reaksi ini membentuk gelembung pada elektroda dan dapat dikumpulkan. Prinsip ini kemudian dimanfaatkan untuk menghasilkan hidrogen yang dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan hidrogen. Dengan menyediakan energi dari baterai, Air (H_2O) dapat dipisahkan ke dalam molekul diatomik hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2). Gas yang dihasilkan dari proses elektrolisis air disebut gas HHO atau oxyhydrogen atau disebut juga Brown's Gas. Brown (1974), dalam penelitiannya melakukan elektrolisa air murni sehingga menghasilkan gas HHO yang dinamakan dan dipatenkan dengan nama Brown's Gas. Untuk memproduksi Brown's Gas digunakan elektroliser untuk memecah molekul-molekul air menjadi gas.

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

Hidrogen akan muncul di katoda, yaitu elektroda yang terhubung ke arus negatif dan oksigen di anoda, yaitu elektroda yang terhubung ke arus positif. Jumlah gas hidrogen yang diperoleh sebanyak 2 kali gas oksigennya, dan jumlah keduanya proporsional dengan energi listrik yang digunakan. Elektrolisis air murni berlangsung sangat lambat. Hal ini karena konduktivitas listrik air murni sangat rendah, yaitu sekitar 1/1.000.000 dari konduktivitas listrik air laut. Kecepatan elektrolisis air menjadi hidrogen dan oksigen dapat ditingkatkan secara nyata dengan penambahan zat-zat elektrolit yang berupa garam, asam, atau basa. Jika zat elektrolit ditambahkan ke dalam air, maka konduktivitas listrik larutan

elektrolit tersebut meningkat dengan tajam. Garam natrium sering digunakan dalam proses elektrolisis air karena harganya relatif murah dan mudah larut dalam air (Mulyono, 2009).

2.3.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Proses Elektrolisis

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_2SO_4 , 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. Maka 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. Konduktivitas listrik didefinisikan sebagai ratio rapat arus terhadap kuat medan listrik.

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

5. 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.

2.3.3 Air

Air adalah senyawa yang penting bagi semua bentuk kehidupan yang diketahui sampai saat ini di Bumi, tetapi tidak di planet lain. Air menutupi hampir 71% permukaan Bumi. Terdapat 1,4 triliun kilometer kubik (330 juta mil³) tersedia di Bumi. Air adalah substansi kimia dengan rumus kimia H₂O, satu molekul air tersusun atas dua atom hidrogen yang terikat secara kovalen pada satu atom oksigen. Air bersifat tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau pada kondisi standar, yaitu pada tekanan 100 kPa (1 bar) dan temperatur 273,15 K (0°C). Zat kimia ini merupakan suatu pelarut yang penting, yang memiliki kemampuan untuk melarutkan banyak zat kimia lainnya, seperti garam-garam, gula, asam, beberapa jenis gas dan banyak macam molekul organik.

Air sering disebut sebagai pelarut universal karena air melarutkan banyak zat kimia. Air berada dalam kesetimbangan dinamis antara fase cair dan padat di bawah tekanan dan temperatur standar. Dalam bentuk ion, air dapat dideskripsikan sebagai sebuah ion hidrogen (H⁺) yang berasosiasi (berikatan) dengan sebuah ion hidroksida (OH⁻). Tetapan fisik air pada temperatur tertentu, dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Ketetapan Fisik Air

Parameter	0°C	20°C	50°C	100°C
Massa Jenis (g/cm ³)	0,99987	0,99823	0,9981	0,9584
Panas Jenis (kal/g°C)	1,0074	0,9988	0,9985	1,0069
Kalor uap (kal/g)	597,3	586	569	539
Konduktivitas termal (kal/cm ⁻¹ s ⁻¹ °C)	1,39 x 10 ⁻³	1,40 x 10 ⁻³	1,52 x 10 ⁻³	1,63 x 10 ⁻³
Tegangan permukaan (dyne/cm)	75,64	72,75	67,91	58,8
Laju viskositas (g/cm.s)	178,34 x 10 ⁻⁴	100,9 x 10 ⁻⁴	54,9 x 10 ⁻⁴	28,4 x 10 ⁻⁴
Tetapan dielektrik	87,825	80,8	69,725	55,355

Sumber: Apriliana, 2014

2.3.4 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. Umumnya, air adalah pelarut (*solvent*) 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. Senyawa seperti NaCl yang membuat larutan menjadi konduktor listrik (Brady, 1999). Proses oksidasi dan reduksi sebagai reaksi pelepasan dan penangkapan oleh suatu zat. Oksidasi adalah proses pelepasan elektron dari suatu zat sedangkan reduksi adalah proses penangkapan electron oleh suatu zat.

Tabel 3. Sifat Daya Hantar Listrik dalam Larutan

Jenis larutan	Sifat dan Pengamatan lain	Contoh Senyawa	Reaksi Ionisasi
Elektrolit Kuat	- Terionisasi sempurna	NaCl, NaOH, H ₂ SO ₄ , HCl, dan KCl	NaCl \longrightarrow Na ⁺ + Cl ⁻
	- Menghantarkan arus listrik		NaOH \longrightarrow Na ⁺ + Cl ⁻
	- Lampu menyala terang		H ₂ SO ₄ \longrightarrow H ⁺ + SO ₄ ²⁻
	- Terdapat gelembung gas		HCl \longrightarrow H ⁺ + Cl ⁻
Elektrolit Lemah	- Terionisasi sebagian	CH ₃ COOH, N ₄ O, H, HCN dan Al(OH) ₃	KCl \longrightarrow K ⁺ + Cl ⁻
	- Menghantarkan arus listrik		CH ₃ COOH \longrightarrow H ⁺ + CH ₃ COO ⁻
	- Lampu menyala redup		HCN \longrightarrow H ⁺ + CN ⁻
	- Terdapat gelembung gas		Al(OH) ₃ \longrightarrow Al ³⁺ + OH ⁻
Non Elektrolit	- Tidak terionisasi	C ₆ H ₁₂ O ₆ , C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ , CO(NH ₂) ₂ , C ₂ H ₅ OH	
	- Tidak menghantarkan arus listrik		
	- Lampu tidak menyala		
	- Tidak terdapat gelembung gas		

Sumber: Hiskia Acchmad, 2001

1. Jenis Elektrolit

Berdasarkan daya hantarnya larutan elektrolit terbagi menjadi tiga, yaitu:

a. Larutan elektrolit kuat

Larutan elektrolit kuat adalah larutan yang banyak menghasilkan ion – ion karena terurai sempurna, maka harga derajat ionisasi (α) = 1. Beberapa elektrolit seperti kalium klorida, natrium hidroksida, natrium nitrat terionisasi sempurna menjadi ion-ionnya dalam larutan. Elektrolit yang terionisasi sempurna disebut dengan elektrolit kuat. Dengan kata lain, elektrolit kuat terionisasi 100%.

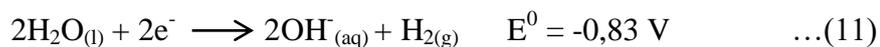
Secara umum asam kuat seperti asam sulfat, asam nitrat, asam klorida, dan basa kuat seperti kalium hidroksida dan garam adalah elektrolit kuat. Sebagai contoh :

- Elektrolisis larutan KOH dengan elektroda Pt, reaksinya:

Reaksi pada Katoda (reduksi terhadap kation)

- a) Ion-ion logam alkali, alkali tanah, Al³⁺, dan ion-ion logam yang memiliki E⁰ lebih kecil dari -0,83 volt tidak direduksi dari larutan. Spesies yang direduksi adalah pelarut (air) dan terbentuklah gas hidrogen (H₂).

Reaksi yang terjadi adalah:



- b) Ion-ion logam yang memiliki E^0 lebih besar dari -0,83 volt direduksi menjadi logam yang diendapkan pada permukaan katode.

Reaksi yang terjadi adalah:



- c) Ion H^+ dari asam akan direduksi menjadi gas hidrogen (H_2).

Reaksi yang terjadi adalah:



- d) Jika yang dielektrolisis adalah leburan (cairan) elektrolit tanpa ada air, maka kation akan mengalami reduksi sehingga diperoleh logam yang diendapkan pada permukaan katode.

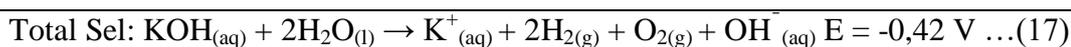
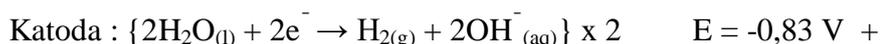
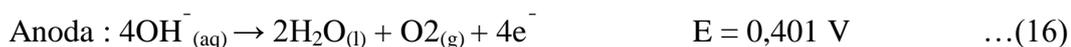
Reaksi yang terjadi adalah:



Reaksi pada Anoda (oksidasi terhadap anion)

Reaksi yang terjadi pada anoda tergantung pada jenis elektroda yang digunakan.

Sehingga reaksi pada katoda dan anoda untuk Larutan KOH menjadi:



Berikut contoh dari Larutan Elektrolit Kuat (Larutan KOH), KOH merupakan senyawa basa, jika dilarutkan ke dalam air maka akan membentuk larutan KOH. KOH tersebut akan menjadi katalisator yang berfungsi untuk mempermudah pemutusan ikatan gas hidrogen dan oksigen dalam air. Semakin besar konsentrasi larutan KOH ketika dielektrolisis, diduga semakin besar pula peluang untuk menghasilkan gas hidrogen dan oksigen dalam jumlah banyak. Begitu pula pengaruh arus yang diberikan semakin banyak gelembung-gelembung yang muncul dari permukaan katoda. Gelembung-gelembung tersebut diduga merupakan proses pemutusan ikatan antara H_2 dan O_2 di dalam senyawa air

sehingga H_2 dan O_2 semakin banyak. (Marwan Putra, 2010)

b. Larutan elektrolit lemah

Larutan elektrolit lemah adalah larutan yang daya hantar listriknya lemah dengan harga derajat ionisasi sebesar $0 < \alpha < 1$. Larutan elektrolit lemah mengandung zat yang hanya sebagian kecil menjadi ion – ion ketika larut dalam air. Yang tergolong elektrolit lemah adalah:

- Asam–asam lemah;
- Garam–garam yang sukar larut;
- Basa–basa lemah.

Adapun larutan elektrolit yang tidak memberikan gejala lampu menyala, tetapi menimbulkan gas termasuk ke dalam larutan elektrolit lemah. Contohnya adalah larutan ammonia, larutan cuka dan larutan H_2S .

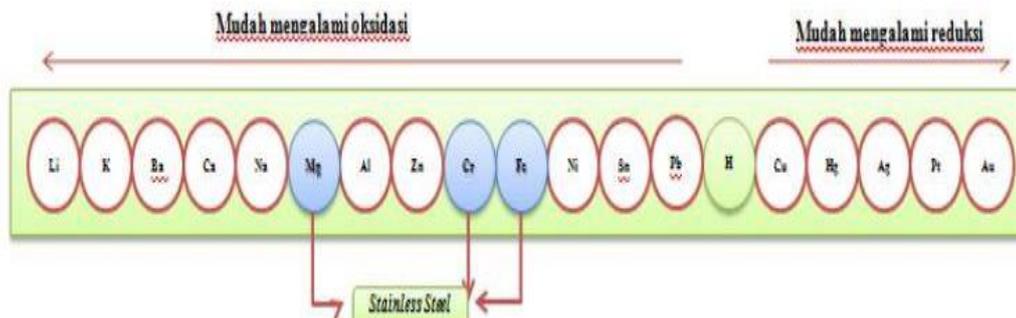
c. Larutan non elektrolit

Larutan non elektrolit adalah larutan yang tidak dapat menghantarkan arus listrik karena zat terlarutnya di dalam pelarut tidak dapat menghasilkan ion–ion. Yang tergolong jenis larutan ini adalah larutan urea, larutan sukrosa, larutan glukosa, alkohol dan lain–lain.

2.3.5 Elektroda

Elektroda adalah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian atau media non-logam dari sebuah sirkuit (misal semi konduktor, elektrolit atau vakum). Ungkapan kata ini diciptakan oleh ilmuwan Michael Faraday dari bahasa Yunani elektron (berarti amber, dan hodos sebuah cara).

Elektroda adalah suatu sistem dua fase yang terdiri dari sebuah penghantar elektrolit (misalnya logam) dan sebuah penghantar ionik (larutan) (Rivai,1995). Elektroda positif (+) disebut anoda sedangkan elektroda negatif (-) adalah katoda (Apriliana, 2014). Anoda ini didefinisikan sebagai elektroda di mana elektron datang dari sel elektrokimia dan oksidasi terjadi, dan katoda didefinisikan sebagai elektroda di mana elektron memasuki sel elektrokimia dan reduksi terjadi. 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 (Apriliana, 2014).



Sumber: Apriliana, 2014

Gambar 3. 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 dikatoda, sedangkan reaksi oksidasi berlangsung dianoda. 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 dikatoda dan gas dianoda.

Elektroda yang digunakan pada percobaan ini adalah 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 *protectivelayer* (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*) (Apriliana, 2014).

Lima golongan utama *Stainless Steel* adalah *Austenitic*, *Ferritic*, *Martensitic*, *Duplex* dan *Precipitation Hardening Stainless Steel*. Kategori *Stainless Steel* tidak halnya seperti baja lain yang didasarkan pada persentase karbon tetapi didasarkan pada struktur metalurginya. *Austenitic Stainless Steel* merupakan plat standar yang sering digunakan. *Austenitic Stainless Steel*

mengandung sedikitnya 16% *Chrom* dan 6% *Nickel* (*grade* standar untuk 304), sampai ke *grade Super Astenitic Stainless Steel* seperti 904L (dengan kadar *Chrom* dan *Nickel* lebih tinggi serta unsur tambahan Mo sampai 6%).

Tabel 4. Nilai Pontensial Standar Beberapa Elektroda

Kopel (oks/red)	Reaksi katoda (reduksi)	E°, Potensial reduksi, volt (elektroda hidrogen standar = 0)
Li ⁺ /Li	Li ⁺ + e ⁻ ⇌ Li	-3,04
K ⁺ /K	K ⁺ + e ⁻ ⇌ K	-2,92
Ca ²⁺ /Ca	Ca ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Ca	-2,87
Na ⁺ /Na	Na ⁺ + e ⁻ ⇌ Na	-2,71
Mg ²⁺ /Mg	Mg ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Mg	-2,37
Al ³⁺ /Al	Al ³⁺ + 3e ⁻ ⇌ Al	-1,66
Zn ²⁺ /Zn	Zn ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Zn	-0,76
Fe ²⁺ /Fe	Fe ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Fe	-0,44
PbSO ₄ /Pb	PbSO ₄ + 2e ⁻ ⇌ Pb + 2SO ₄	-0,36
Co ²⁺ /Co	Co ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Co	-0,28
Ni ²⁺ /Ni	Ni ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Ni	-0,25
Sn ²⁺ /Sn	Sn ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Sn	-0,14
Pb ²⁺ /Pb	Pb ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Pb	-0,13
D ⁺ /D ₂	2D ⁺ + 2e ⁻ ⇌ D ₂	-0,003
H ⁺ /H ₂	2H ⁺ + 2e ⁻ ⇌ H ₂	0,000
Sn ⁴⁺ /Sn ²⁺	Sn ⁴⁺ + 2e ⁻ ⇌ Sn ²⁺	+0,15
Cu ²⁺ /Cu	Cu ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Cu	+0,34
I ₂ /I ⁻	I ₂ + 2e ⁻ ⇌ 2I ⁻	+0,54
O ₂ /H ₂ O ₂	O ₂ + 2H ⁺ + 2e ⁻ ⇌ H ₂ O ₂	+0,68
Fe ³⁺ /Fe ²⁺	Fe ³⁺ + e ⁻ ⇌ Fe ²⁺	+0,77
Hg ₂ ²⁺ /Hg	Hg ₂ ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ 2Hg	+0,79
Ag ⁺ /Ag	Ag ⁺ + e ⁻ ⇌ Ag	+0,80
NO ₃ ⁻ /N ₂ O ₄	2NO ₃ ⁻ + 4H ⁺ + 2e ⁻ ⇌ N ₂ O ₄ + 2H ₂ O	+0,80
NO ₃ ⁻ /NO	NO ₃ ⁻ + 4H ⁺ + 3e ⁻ ⇌ NO + 2H ₂ O	+0,96
Br ₂ /Br	Br ₂ + 2e ⁻ ⇌ 2Br	+1,07
O ₂ /H ₂ O	O ₂ + 4H ⁺ + 4e ⁻ ⇌ 2H ₂ O	+1,23
Cr ₂ O ₇ ²⁻ /Cr ³⁺	Cr ₂ O ₇ ²⁻ + 14H ⁺ + 6e ⁻ ⇌ 2Cr ³⁺ + 7H ₂ O	+1,33
Cl ₂ /Cl ⁻	Cl ₂ + 2e ⁻ ⇌ 2Cl ⁻	+1,36
PbO ₂ /Pb ²⁺	PbO ₂ + 4H ⁺ + 2e ⁻ ⇌ Pb ²⁺ + H ₂ O	+1,46
Au ³⁺ /Au	Au ³⁺ + 3e ⁻ ⇌ Au	+1,50
MnO ₄ ⁻ /Mn ²⁺	MnO ₄ ⁻ + 8H ⁺ + 5e ⁻ ⇌ Mn ²⁺ + 4H ₂ O	+1,51
HClO/CO ₂	2HClO + 2H ⁺ + 2e ⁻ ⇌ Cl ₂ + 2H ₂ O	+1,63
PbO ₂ /PbSO ₄	PbO ₂ + SO ₄ ²⁻ + 4H ⁺ + 2e ⁻ ⇌ PbSO ₄ + 2H ₂ O	+1,68
H ₂ O ₂ /H ₂ O	H ₂ O ₂ + 2H ⁺ + 2e ⁻ ⇌ 2H ₂ O	+1,78
F ₂ /F	F ₂ + 2e ⁻ ⇌ 2F	+2,87

Sumber: Apriliana, 2014

2.3.6 Hukum Faraday

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 :

$$q = n \times F \quad \dots(18)$$

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 :

$$q = i \times t \quad \dots(19)$$

Dimana :

q = Muatan listrik (C)

i = Arus listrik (Ampere)

t = Waktu (detik)

2.3.7 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 H_2 yang bereaksi dan jumlah molekul NH_3 yang terbentuk jika reaksi berlangsung pada temperatur dan tekanan yang sama sesuai dengan perbandingan koefisiennya, maka dirumuskan dengan persamaan 21.

$$\text{Mol H}_2 \times \text{Koef H}_2 = \text{mol NH}_3 \times \text{Koef NH}_3 \quad \dots(21)$$

2.3.8 Reaktor *Oxyhidrogen* (HHO)

Alat elektrolisis air yang digunakan pada penelitian ini yaitu reaktor *oxyhidrogen*. Alat ini disebut reaktor *oxyhidrogen* karena menghasilkan gas HHO. Reaktor *oxyhidrogen* terdiri dari wadah sebagai penyimpan bahan baku dan elektroda. Elektroda terdiri dari lima pasang plat yang disusun secara *parallel*. Gas hidrogen (H₂) yang dihasilkan akan disalurkan ke reservoir air untuk mengikat kandungan air yang masih ada dalam gas hidrogen karena gas yang dihasilkan tidak sepenuhnya murni (Apriliana, 2014).

Gas hidrogen yang dihasilkan dapat diambil dengan membuka katup bukaan dibagian atas dari tabung penyimpanan. Tekanan gas di dalam tabung di tunjukan dengan pengukur tekanan di atas tabung sebagai indikator jumlah gas dalam tabung (Apriliana, 2014). Untuk menghitung volume gas hidrogen yang diperoleh dapat menggunakan persamaan gas umum.

$$PV = nRT \quad \dots(22)$$

Dimana :

P = Tekanan (atm)

V = Volume (L)

n = mol

R = Konstanta Gas Umum (0,082057 L atm/ mol K)

T = Temperatur (K)

2.3.9 Tekanan Absolute dan Tekanan Terukur

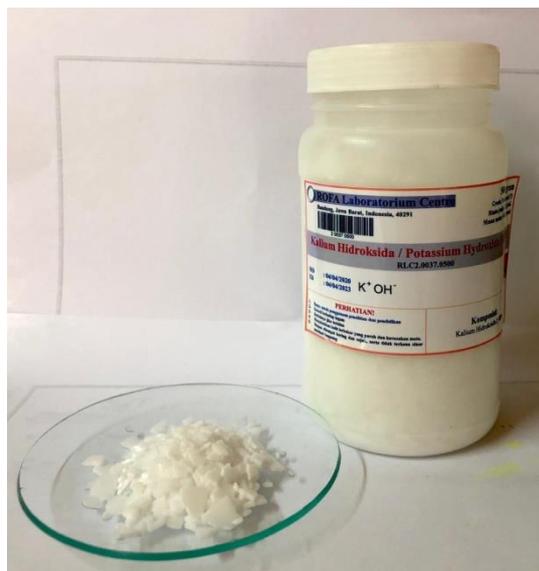
Pembacaan semua alat ukur tekanan bukanlah merupakan tekanan fluida yang sebenarnya, tetapi menunjukkan perbedaan tekanan antara tekanan fluida dengan tekanan atmosfer. Tekanan yang terbaca pada alat ukur biasanya disebut tekanan terukur dan tekanan manometer, sedangkan tekanan yang sebenarnya disebut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

$$P \text{ absolute} = P \text{ terukur} + P \quad \dots(23)$$

2.4 Katalis KOH

Katalis yang digunakan adalah larutan elektrolit. Elektrolit dapat didefinisikan sebagai konduktor listrik, dimana arus listrik dibawa oleh pergerakan ion. Dengan melarutkan elektrolit di dalam air akan meningkatkan konduktivitas listrik dari air. Oleh karena itulah dengan penambahan elektrolit sebagai katalis pada proses elektrolisis akan menurunkan energi yang dibutuhkan (Prasetya, 2016). Pada penelitian ini katalis yang digunakan adalah Kalium Hidroksida (KOH).

Kalium Hidroksida merupakan senyawa basa, jika dilarutkan ke dalam air maka akan membentuk larutan KOH. KOH tersebut akan menjadi katalisator yang berfungsi untuk mempermudah pemutusan ikatan gas hidrogen dan oksigen dalam air. Semakin besar konsentrasi larutan KOH ketika dielektrolisis, diduga semakin besar pula peluang untuk menghasilkan gas hidrogen dan oksigen dalam jumlah yang banyak. Begitu pula pengaruh arus yang diberikan oleh sumber tegangan. Semakin besar arus yang diberikan semakin banyak gelembung-gelembung yang muncul dari permukaan katoda. Gelembung-gelembung tersebut diduga merupakan proses pemutusan ikatan antara H_2 dan O_2 di dalam senyawa air sehingga H_2 dan O_2 semakin banyak (Putra, 2010).



Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020

Gambar 4. Bentuk Kalium Hidroksida (KOH).

Kalium Hidroksida (KOH) merupakan senyawa anorganik dengan rumus kimia KOH dimana unsur kalium (K^+) mengikat sebuah gugus hidroksil (OH^-). Seperti halnya natrium hidroksida, maka kalium hidroksida merupakan basa kuat. Kalium Hidroksida merupakan panamaan dalam Bahasa Indonesia untuk senyawa potassium hydroxide dan dikenal dengan nama lain seperti caustic potash, potassium, dan potassium hydrate. KOH berupa kristal padat berwarna putih.

Sifat kimia :

1. Bentuk fisik : padatan
2. Warna : putih
3. Berat molekul : 56,10564 g/mol
4. Titik didih : 1320°C (1663 K) pada 1 atm
5. Titik leleh : 360°C (1663 K) pada 1 atm
6. Densitas : 2,044 g/cm³ (Perry, 1997)

2.5 Energi

Energi merupakan kebutuhan dasar manusia, yang terus meningkat sejalan dengan tingkat kehidupannya. Bahan bakar minyak/energi fosil merupakan salah satu sumber energi yang bersifat tak terbarukan (*non renewable energy sources*) yang selama ini merupakan andalan untuk memenuhi kebutuhan energi di seluruh sektor kegiatan. Kekayaan sumber daya energi di Indonesia, yaitu tenaga air (Hydropower), panas bumi, gas bumi, batubara, gambut, biomassa, biogas, angin, energi laut, matahari dan lainnya dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif, menggantikan ketergantungan terhadap bahan bakar minyak, yang semakin terbatas baik jumlah dan cadangannya (Kholiq, 2015). Adapun komposisi konsumsi energy nasional saat ini adalah BBM : 52,50%; Gas: 19,04%; Batubara: 21,52%; Air: 3,73%; Panas Bumi: 3,01%; dan Energi Baru: 0,2%.

2.5.1 Macam-Macam Energi

Energi diperoleh dari sumber-sumber energi. Sumber energi dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu sumber energi tak terbarukan (*non renewable*) dan sumber energi terbarukan (*renewable*).

1. Energi Tak Terbarukan (*Non Renewable Energy*)

Adalah sumber energi yang jumlahnya terbatas dan memerlukan waktu yang lama untuk mendapatkannya kembali, sumber energi ini antara lain berupa minyak bumi, gas bumi dan batubara.

2. 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. Potensi alam sebagai energi terbarukan pada saat ini belum seluruhnya digunakan secara massal salah satu contohnya yaitu energi air dapat dimanfaatkan menjadi gas Hidrogen (H_2), sehingga untuk dapat memanfaatkannya, hidrogen harus dipisahkan terlebih dahulu dari senyawanya agar dapat digunakan sebagai bahan bakar. hidrogen merupakan energi yang ramah lingkungan (Yanur dan Djoko, 2013) dan menjadi perhatian besar pada banyak negara, terutama di negara maju. Oleh karna itu energi terbarukan ini harus dikembangkan menjadi energi baru terbarukan (EBT) agar dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif. 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 (wahyono, 2016). Contohnya hidrogen dibutuhkan untuk salah satu metode pembuatan sumber energi, yaitu *Fuel Cell*. Saat ini Pemerintah terus berupaya melaksanakan percepatan pengembangan energi baru terbarukan (EBT) agar dapat mencapai target 23% energi baru terbarukan (EBT) pada bauran energi nasional tahun 2025 sebagaimana amanat Rencana Umum Energi Nasional (RUEN).

2.6 Gas Hidrogen

Hidrogen adalah unsur 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 (Apriliana, 2014). Pada suhu dan tekanan standar, hidrogen tidak berwarna, tidak berbau, bersifat non-logam, bervalensi tunggal, dan

merupakan gas diatomik yang sangat mudah terbakar.

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 dkk, 2011), tetapi senyawa hidrogen relatif langka dan jarang dijumpai secara alami di bumi, dan biasanya dihasilkan secara industri dari berbagai senyawa hidrokarbon seperti metana. Unsur ini ditemukan dalam kelimpahan yang besar di bintang-bintang dan planet-planet gas raksasa. Diseluruh alam semesta ini, hidrogen kebanyakan ditemukan dalam keadaan atomik dan plasma yang sifatnya berbeda dengan molekul hidrogen. Sebagai plasma, elektron hidrogen dan proton terikat bersama, dan menghasilkan 18 konduktivitas elektrik yang sangat tinggi dan daya pancar yang tinggi (menghasilkan cahaya dari matahari dan bintang lain). Tetapi hidrogen juga dapat dihasilkan dari air melalui proses elektrolisis.

Hidrogen merupakan unsur yang sangat aktif secara kimia, sehingga jarang sekali ditemukan dalam bentuk bebas. Di alam, 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. Gas hidrogen sangat mudah terbakar dan akan terbakar pada konsentrasi serendah 4% H₂ di udara bebas (Apriliana, 2014). Entalpi pembakaran hidrogen adalah -286 kJ/mol. Hidrogen terbakar menurut persamaan kimia:



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.

2.6.1 Karakteristik Gas Hidrogen

Gas hidrogen adalah gas yang tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa. Gas hidrogen bersifat mudah terbakar pada tekanan dan suhu normal. Saat terbakar hidrogen tidak menghasilkan emisi gas dan ramah lingkungan (Setiyono dkk, 2011). Sifat fisik gas hidrogen dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. 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 ³ pada 293 K
Kapasitas panas	14,304 J/g ⁰ K

Sumber: Faishal, 2018

2.6.2 Hidrogen sebagai bahan bakar

Keuntungan jika hidrogen digunakan sebagai bahan bakar (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 hidrogen dapat menghasilkan kalor sebanyak 286 kJ/mol hidrogen.

Tabel 6. Nilai kalor pada berbagai macam bahan bakar.

Bahan Bakar	Kalor yang Dihasilkan (kJ)		
	Per gram	Per mol	Per liter
Gas Hidrogen	143	286	12
Hidrogen Cair	142	285	9970
Gas Metan	55	882	36
LPG	50	2220	25600
Oktana cair	48	5512	3400

Sumber : Faishal, 2018

2.6.3 Penyimpanan Hidrogen

Hidrogen dapat disimpan dengan cara berikut:

1. Hidrogen dicairkan dan disimpan pada suhu -253°C . dalam hal ini memerlukan tangki khusus dan mahal. Hidrogen cair perlahan-lahan menguap dan dapat meledak. Energi untuk mencairkan hydrogen 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 aliasi logam. Hidrogen dapat menempati rongga diantara atom aliasi logam dan membentuk hidrida (hidrida interstisi). Hidrida logam ini aman untuk pengisian hidrogen karena tidak meledak jika gas dibakar.

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