

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hidrogen

Hidrogen adalah unsur kimia pada tabel periodik yang memiliki simbol H dan nomor atom 1. Pada suhu dan tekanan standar, hidrogen tidak berwarna, tidak berbau, bersifat non-logam, bervalensi tunggal, dan merupakan gas diatomik yang sangat mudah terbakar.

Hidrogen adalah unsur paling melimpah dengan persentase kira-kira 75% dari total massa unsur alam semesta. Senyawa hidrogen relatif langka dan jarang dijumpai secara alami di bumi, dan biasanya dihasilkan secara industri dari berbagai senyawa hidrokarbon seperti metana. Unsur ini ditemukan dalam kelimpahan yang besar di bintang-bintang dan planet-planet gas raksasa. Di seluruh 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 konduktivitas elektrik yang sangat tinggi dan daya pancar yang tinggi (menghasilkan cahaya dari matahari dan bintang lain).

Karakteristik Gas Hidrogen

Hidrogen adalah gas ringan (lebih ringan dari udara), tidak berwarna dan tidak berbau. Jika terbakar tidak menunjukkan adanya nyala dan akan menghasilkan panas yang sangat tinggi. Berikut dapat dilihat sifat fisik gas Hidrogen pada tabel 1

Tabel 1. Sifat Fisik Gas Hidrogen

Parameter	Keterangan
Titik lebur	-259,14 ⁰ C
Titik didih	-252,87 ⁰ 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; <http://id.wikipedia.org/wiki/Hidrogen>,2013)

2.2 Produksi Hidrogen

Di awal perkembangan teknologi industri dengan menggunakan mesin, produksi hidrogen masih menggunakan hidrokarbon sebagai bahan utamanya. Metode untuk memproduksi hidrogen terus berkembang. Hidrogen dapat diproduksi dari berbagai bahan baku dan menggunakan beberapa teknologi seperti pada Tabel 2. di bawah :

Tabel 2. Proses Pembuatan Gas Hidrogen.

Metode	Proses	Bahan Baku	Energi	Emisi
Thermal	Steam Reforming	Gas alam, hidrokarbon ringan	Steam bersuhu tinggi	Emisi gas rumah kaca
	Gasifikasi	Batubara, Hidrokarbon berat	Steam dan oksigen pada tekanan dan suhu tinggi	Emisi gas rumah kaca
	Autothermal Reformation (Oksidasi Parsial)	Gas Alam, Hidrokarbon ringan.	Steam yang dibangkitkan dengan panas proses eksoterm	Emisi gas rumah kaca
	Catalytic Reforming.	Naptha dari oil refining	Panas dari proses oil refiining	Emisi gas rumah Kaca
	Pirolisis	Biomassa	Steam bersuhu tinggi	Emisi gas rumah Kaca
	Thermochemical Water Splitting	Air	Panas bersuhu tinggi	Tidak ada emisi
Elektrokimia	Elektrolisis	Air	Listrik dari energi yang terbarukan	Tidak ada emisi
	Elektrolisis	Air	Listrik dari bahan bakar fosil	Emisi gas rumah kaca dan emisi lain dari bahan bakar fosil
	Thermal Catalytic Dry Reformation	Metana, air, gas landfill	Panas (dari energi matahari atau sumber panas lain)	Emisi gas rumah kaca (tergantung dari feedstok)
	Disosiasi Plasma	Biomassa, gas alam	Lisrik (plasma discharge)	Tidak ada emisi

Byproduct Recovery	Recover H ₂ dari berbagai proses	(Tidak ada umpan spesifik untuk produksi hidrogen)	Energi incremental untuk gas clean up dan compressi	Tidak ada emisi
Biologi	Photobiologi	Air dan alga	Sinar matahari	Tidak ada emisi
	Pencernaan anaerobik	Biomassa	Steam bertemperatur tinggi	Emisi gas rumah kaca dan emisi lain
	Fermentasi mikroorganisme	Biomassa	Steam bertemperatur tinggi	Emisi gas rumah kaca dan emisi lain

Sumber : (Sustainable Development Technology Canada. (2006, November).
Renewable Fuel — Hydrogen, SD Business Case™. Canada Author.)

Proses termal seperti pada tabel diatas mampu menghasilkan hidrogen dalam jumlah yang besar, namun terkendala pada energi yang digunakan dan emisi yang dihasilkan. Proses elektrokimia tidak menghasilkan emisi namun jumlah hidrogen yang dihasilkan sedikit. Sedangkan proses biologi menghasilkan jumlah hidrogen yang sedikit dan penerapannya hanya bisa dilakukan dalam skala kecil. Berkembangnya sistem produksi energi yang ramah lingkungan membuat proses elektrolisis terus dimodifikasi agar menghasilkan hidrogen yang lebih besar.

2.3 Sel Elektrolisis

Elektrolisis adalah penguraian suatu elektrolit oleh arus listrik. Pada sel elektrolisis, reaksi kimia akan terjadi jika arus listrik dialirkan melalui larutan elektrolit, yaitu energi listrik (arus listrik) diubah menjadi energi kimia (reaksi redoks). Tiga ciri utama, yaitu:

1. Ada larutan elektrolit yang mengandung ion bebas. Ion-ion ini dapat memberikan atau menerima elektron sehingga elektron dapat mengalir melalui larutan.
2. Ada sumber arus listrik dari luar, seperti baterai yang mengalirkan arus listrik searah (DC).

3. Ada 2 elektroda dalam sel elektrolisis. Elektroda yang menerima elektron dari sumber arus listrik luar disebut Katoda, sedangkan elektroda yang mengalirkan elektron kembali ke sumber arus listrik luar disebut Anoda. Katoda adalah tempat terjadinya reaksi reduksi yang elektrodanya negative (-) dan Anoda adalah tempat terjadinya reaksi oksidasi yang elektrodanya positive (+).

Sel Elektrolisis adalah sel yang menggunakan arus listrik untuk menghasilkan reaksi redoks yang diinginkan dan digunakan secara luas di dalam masyarakat kita. Baterai aki yang dapat diisi ulang merupakan salah satu contoh aplikasi sel elektrolisis dalam kehidupan sehari-hari. Baterai aki yang sedang diisi kembali (*recharge*) mengubah energi listrik yang diberikan menjadi produk berupa bahan kimia yang diinginkan. Air, H₂O, dapat diuraikan dengan menggunakan listrik dalam sel elektrolisis. Proses ini akan mengurai air menjadi unsur-unsur pembentuknya. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



(Sumber : Hiskia Achmad, 2001)

Rangkaian sel elektrolisis hampir menyerupai sel volta. Yang membedakan sel elektrolisis dari sel volta adalah, pada sel elektrolisis, komponen voltmeter diganti dengan sumber arus (umumnya baterai). Larutan atau lelehan yang ingin dielektrolisis, ditempatkan dalam suatu wadah. Selanjutnya, elektroda dicelupkan ke dalam larutan maupun lelehan elektrolit yang ingin dielektrolisis. Elektroda yang digunakan umumnya merupakan elektroda inert, seperti Grafit (C), Platina (Pt), dan Emas (Au). Elektroda berperan sebagai tempat berlangsungnya reaksi. Reaksi reduksi berlangsung di katoda, sedangkan reaksi oksidasi berlangsung di anoda. Kutub negatif sumber arus mengarah pada katoda (sebab memerlukan elektron) dan kutub positif sumber arus tentunya mengarah pada anoda. Akibatnya, katoda bermuatan negatif dan menarik kation-kation yang akan tereduksi menjadi endapan logam. Sebaliknya, anoda bermuatan positif dan menarik anion-anion yang akan teroksidasi menjadi gas. Terlihat jelas bahwa tujuan elektrolisis adalah untuk mendapatkan endapan logam di katoda dan gas di anoda.

Faktor yang mempengaruhi elektrolisis antara lain adalah:

1. Penggunaan Katalisator

Misalnya H_2SO_4 dan KOH berfungsi mempermudah proses penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen karena ion-ion katalisator mampu mempengaruhi kestabilan molekul air menjadi menjadi ion H dan OH^- yang lebih mudah di elektrolisis karena terjadi penurunan energi pengaktifan.

2. Luas permukaan tercelup

Semakin banyak luas yang semakin banyak menyentuh elektrolit maka semakin mempermudah suatu elektrolit untuk mentransfer elektronnya. Sehingga terjadi hubungan sebanding jika luasan yang tercelup sedikit maka semakin mempersulit elektrolit untuk melepaskan electron dikarenakan sedikitnya luas penampang penghantar yang menyentuh elektrolit. Sehingga transfer elektron bekerja lambat dalam mengelektrolisis elektrolit

3. Sifat Logam Bahan Elektroda

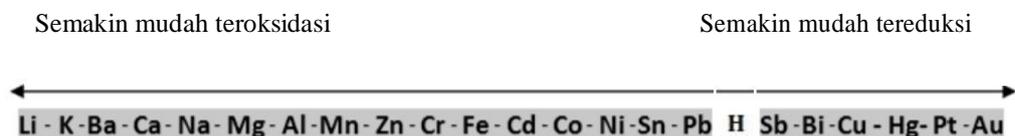
Penggunaan medan listrik pada logam dapat menyebabkan seluruh elektron bebas bergerak dalam metal, sejajar, dan berlawanan arah dengan arah medan listrik. Ukuran dari kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Jika suatu beda potensial listrik ditempatkan pada ujung-ujung sebuah konduktor, muatan-muatan bergerak akan berpindah, menghasilkan arus listrik. Konduktivitas listrik didefinisikan sebagai ratio rapat arus terhadap kuat medan listrik. Konduktivitas listrik dapat dilihat pada deret volta seperti, Li K Ba Sr Ca Na Mg Al Mn Zn Cr Fe Cd Co Ni Sn Pb H Sb Bi Cu Hg Ag Pt Au. Semakin ke kanan maka semakin besar massa jenisnya.

4. Konsentrasi Pereaksi

Semakin besar konsentrasi suatu larutan pereaksi maka akan semakin besar pula laju reaksinya. Ini dikarenakan dengan prosentase katalis yang semakin tinggi dapat mereduksi hambatan pada elektrolit. Sehingga transfer elektron dapat lebih cepat meng-elektrolisis elektrolit dan didapat ditarik garis lurus bahwa terjadi hubungan sebanding terhadap prosentase katalis dengan transfer elektron.

2.4 Deret Volta

Deret elektrokimia atau deret volta adalah urutan logam-logam (ditambah hidrogen) berdasarkan kenaikan potensial elektrodanya. Umumnya deret volta yang sering dipakai adalah :



Gambar 1. Deret Volta

Pada Deret Volta, unsur logam dengan potensial elektrodanya lebih negatif ditempatkan di bagian kiri, sedangkan unsur dengan potensial elektrodanya yang lebih positif ditempatkan di bagian kanan.

Semakin ke kiri kedudukan suatu logam dalam deret tersebut, maka Logam semakin reaktif (semakin mudah melepas elektron) dan logam merupakan reduktor yang semakin kuat (semakin mudah mengalami oksidasi). Sebaliknya, semakin ke kanan kedudukan suatu logam dalam deret tersebut, maka Logam semakin kurang reaktif (semakin sulit melepas elektron) Logam merupakan oksidator yang semakin kuat (semakin mudah mengalami reduksi).

Salah satu metode untuk mencegah korosi antara lain dengan menghubungkan logam (misalnya besi) dengan logam yang letaknya lebih kiri dari logam tersebut dalam deret volta (misalnya magnesium) sehingga logam yang mempunyai potensial elektrodanya yang lebih negatif lah yang akan mengalami oksidasi. Metode pencegahan karat seperti ini disebut perlindungan katodik. Contoh lain dari perlindungan katodik adalah pipa besi, tiang telepon, dan berbagai barang lain yang dilapisi dengan zink, atau disebut Galvanisasi. Zink dapat melindungi besi dari korosi sekalipun lapisannya tidak utuh. Oleh karena potensial reduksi besi lebih positif daripada zink (posisinya dalam deret Volta lebih ke kanan), maka besi yang kontak dengan zink akan membentuk sel elektrokimia dengan besi sebagai katode. Dengan demikian besi terlindungi dan zink yang mengalami oksidasi. Larutan garam suatu logam yang berada di bagian kiri dapat bereaksi dengan logam yang berada di bagian kanan. Contohnya larutan FeCl_3 (*feri chloride*) boleh mengikis Cu (*copper* / tembaga).

Peralatan percobaan untuk menghasilkan listrik dengan memanfaatkan energi redoks spontan disebut sel galvanic atau sel volta, diambil dari nama ilmuwan Italia Luigi Galvani dan Alessandro Volta yang membuat versi awal dari alat ini. Sel volta adalah penataan bahan kimia dan penghantar listrik yang memberikan aliran elektron lewat rangkaian luar dari suatu zat kimia yang teroksidasi ke zat kimia yang direduksi. Suatu sel galvani menghasilkan listrik karena adanya perbedaan daya tarik dua elektroda terhadap elektron, sehingga elektron mengalir dari yang lemah ke yang kuat daya tariknya. Jika daya tarik itu disebut potensial elektroda, maka perbedaan potensial kedua elektroda disebut potensial sel atau daya gerak listrik (DGL) sel dalam satuan volt (V). Prinsip-prinsip sel volta :

1. Di dalam sel volta reaksi kimianya mengandung arus listrik, reaksi terjadi secara spontan
2. Terjadi perubahan dari energi kima menjadi energi listrik
3. Pada anoda, terjadi reaksi oksidasi dan bermuatan negatif (-)
4. Pada katode, terjadi reaksi reduksi dan bermuatan positif (+)
5. Elektron mengalir dari anoda menuju katoda

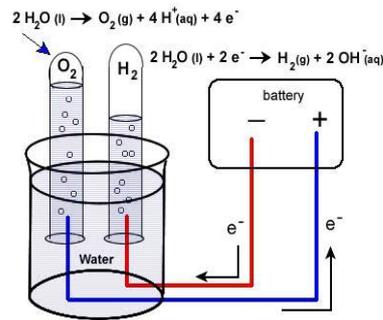
2.5 Elektrolisis Air

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

Faktor yang mempengaruhi elektrolisis air :

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

f. Material pemisah



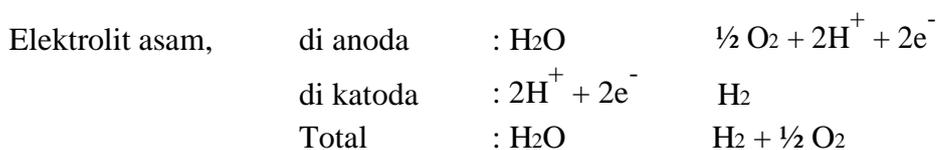
Gambar 2. Elektrolisis Air

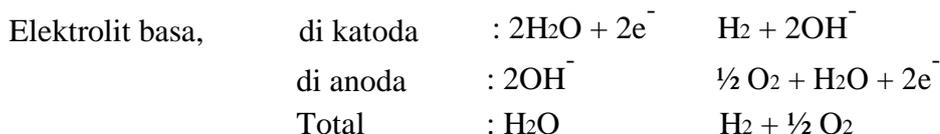
(Sumber : <http://smart-pustaka./2013/02/elektrolisis-air.html>)

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 hydrogen. 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.

Beda potensial yang dihasilkan oleh arus listrik antara anoda dan katoda akan mengionisasi molekul air menjadi ion positif dan ion negatif. Pada katoda terdapat ion positif yang menyerap elektron dan menghasilkan molekul ion H_2 , dan ion negatif akan bergerak menuju anoda untuk melepaskan elektron dan menghasilkan molekul ion O_2 . Reaksi total elektrolisis air adalah penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen. Bergantung pada jenis elektrolit yang digunakan, reaksi setengah sel untuk elektrolit asam atau basa dituliskan dalam dua cara yang berbeda.





2.6 Larutan Elektrolit

Elektrolit adalah suatu zat yang larut atau terurai ke dalam bentuk ion-ion dan selanjutnya larutan menjadi konduktor elektrik, ion-ion merupakan atom-atom bermuatan elektrik. Elektrolit bisa berupa air, asam, basa atau berupa senyawa kimia lainnya. Elektrolit umumnya berbentuk asam, basa atau garam. Beberapa gas tertentu dapat berfungsi sebagai elektrolit pada kondisi tertentu misalnya pada suhu tinggi atau tekanan rendah. Elektrolit kuat identik dengan asam, basa, dan garam kuat. Elektrolit merupakan senyawa yang berikatan ion dan kovalen polar. Sebagian besar senyawa yang berikatan ion merupakan elektrolit sebagai contoh ikatan ion NaCl yang merupakan salah satu jenis garam yakni garam dapur. NaCl dapat menjadi elektrolit dalam bentuk larutan dan lelehan. atau bentuk liquid dan aqueous. sedangkan dalam bentuk solid atau padatan senyawa ion tidak dapat berfungsi sebagai elektrolit. Bila larutan elektrolit dialiri arus listrik, ion-ion dalam larutan akan bergerak menuju electrode dengan muatan yang berlawanan, melalui cara ini arus listrik akan mengalir dan ion bertindak sebagai penghantar, sehingga dapat menghantarkan arus listrik.

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 elektron 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		$\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$
	- Menghantarkan Arus listrik	NaCl, NaOH,	$\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^-$
Elektrolit Lemah	- Lampu menyala terang	$\text{H}_2\text{SO}_4, \text{HCl}$,	$\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$
	- Terdapat gelembung gas	dan KOH	$\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$
	- Terionisasi sebagian		$\text{KOH} \rightarrow \text{K}^+ + \text{OH}^-$
	- Menghantarkan arus listrik	CH_3COOH ,	$\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{H}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$
	- Lampu menyala redup	$\text{N}_4\text{OH}, \text{HCN}$	$\text{HCN} \rightarrow \text{H}^+ + \text{CN}^-$

	- Terdapat gelembung gas	dan Al(OH) ₃	$\text{Al(OH)}_3 \rightarrow \text{Al}^{3+} + \text{OH}^-$
	- Tidak Terionisasi		C ₆ H ₁₂ O ₆
	- Tidak menghantarkan arus	C ₆ H ₁₂ O ₆	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁
Non	Listrik	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	CO (NH ₂) ₂
Elektrolit	- Lampu tidak menyala	CO (NH ₂) ₂	C ₂ H ₅ OH
	- Tidak terdapat gelembung Gas	C ₂ H ₅ OH	

(Sumber : Hiskia Achmad , 2001)

2.6.1 Jenis Elektrolit

Berdasarkan daya hantarnya larutan elektrolit terbagi menjadi tiga, yaitu :

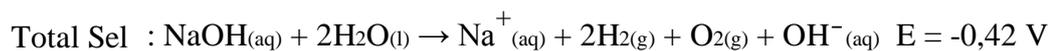
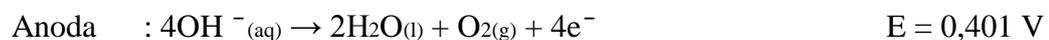
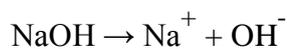
A. Larutan elektrolit kuat

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 :

a. Elektrolisis larutan NaOH dengan elektroda Pt, reaksinya:

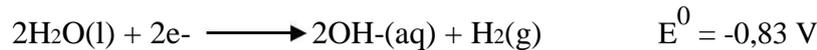


b. Elektrolisis larutan KOH dengan elektroda Pt, reaksinya:

Reaksi pada Katode (reduksi terhadap kation)

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

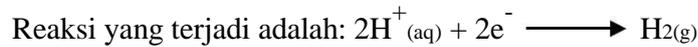
Reaksi yang terjadi adalah:



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



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



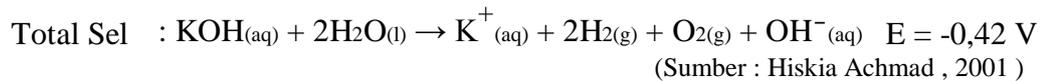
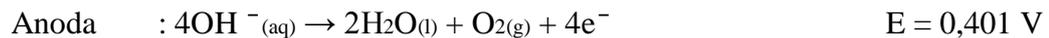
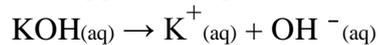
4. Jika yang dielektrolisis adalah leburan (cairan) elektrolit tanpa ada air, maka kation akan mengalami reduksi sehingga diperoleh logam yang diendapkan pada permukaan katode.



Reaksi pada Anode (oksidasi terhadap anion)

Reaksi yang terjadi pada anode tergantung pada jenis elektrode yang digunakan.

Sehingga reaksi pada katoda dan anoda untuk Larutan KOH menjadi :



Contoh dari Larutan Elektrolit Kuat, yaitu :

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)

Selain itu dengan menggunakan larutan KOH, kemungkinan produksi

hidrogen bisa ditingkatkan. Hal ini dikarenakan KOH dapat menyebarkan muatan listrik karena fungsinya sebagai zat dielektrikum, sehingga proses pemecahan air menjadi radikal-radikal yang selanjutnya bereaksi lanjut menghasilkan hidrogen dan oksigen menjadi optimal. Selain itu kalium berbeda dengan natrium yang tidak terurai selama proses elektrolisis, sehingga peran KOH dalam meningkatkan konduktivitas larutan tidak hilang selama reaksi.

Pada saat aliran listrik mengalir dalam larutan elektrolit KOH akan terjadi reaksi berikut :



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:

1. Asam–asam lemah
2. Garam–garam yang sukar larut
3. Basa–basa lemah

Adapun larutan elektrolit yang tidak memberikan gejala lampu menyala, tetapi menimbulkan gas termasuk ke dalam larutan elektrolit lemah. Contohnya adalah larutan ammonia, larutan cuka dan larutan H₂S.

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.

2.7 Elektroda

Elektroda adalah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian atau media non-logam dari sebuah sirkuit (misal semikonduktor, elektrolit

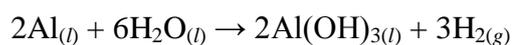
atau vakum). Ungkapan kata ini diciptakan oleh ilmuwan Michael Faraday dari bahasa Yunani elektron (berarti amber, dan hodos sebuah cara).

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 (Svehla,1985). 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. (Brady, 1999).

2.8 Aluminium

Aluminium termasuk unsur yang banyak terdapat di kulit bumi. Umumnya aluminium ditemukan bergabung dengan silikon dan oksigen, seperti dalam aluminosilikat, yang terdapat dalam karang sebagai granit dan tanah liat. Logam aluminium berwarna putih, mengkilat, mempunyai titik leleh tinggi yaitu sekitar 660°C, moderat lunak dan lembek lemah jika dalam keadaan murni, tetapi menjadi keras dan lunak jika dibuat paduan dengan logam-logam lain. Densitasnya sangat ringan sebesar 2,73 g/cm³. aluminium merupakan konduktor panas dan konduktor listrik yang baik, namun sifat ini lebih rendah dibandingkan dengan sifat konduktor tembaga.

Logam aktif, misalnya Mg dan Al, bisa melepaskan hidrogen melalui hidrolisis dengan air (Grosjean et al. 2005). Aluminium telah diidentifikasi sebagai zat yang menjanjikan dan ideal untuk produksi hidrogen. Aluminium dapat menghasilkan hidrogen dengan bantuan larutan alkali di dalam air dengan reaksi berikut.



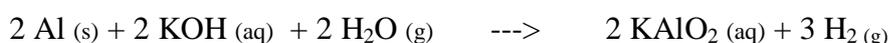
Produksi hidrogen dengan kaleng aluminium bekas akan menghemat sumber daya alam dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Hiraki et al. telah mengusulkan bahwa kebutuhan energi dari generasi hidrogen berbasis aluminium limbah hanya 2% dan jumlah emisi CO₂ adalah 4% dari metode konvensional (Hiraki, et al. 2005). Namun biasanya kaleng aluminium yang digunakan biasanya dilapisi

dengan cat, yang menghambat kontak antara reaktan dan menghambat evolusi hidrogen. Untuk meningkatkan produksi gas hidrogen adalah dengan melakukan pengecilan ukuran bahan baku yakni logam aluminium.

Aluminium merupakan logam amfoter. Mengapa dikatakan amfoter? Apa arti amfoter? Suatu zat bersifat amfoter berarti zat tersebut dapat bersifat asam saat direaksikan dengan basa kuat, misalnya NaOH atau KOH. Dapat bersifat basa apabila zat tersebut direaksikan dengan asam kuat, contohnya asam klorida, HCl.

Banyak percobaan yang dilakukan untuk membuat gas hidrogen murni yang berasal dari logam Aluminium yang direaksikan dengan Basa. Logam Aluminium dipilih karena rekasinya yang kuat serta dalam waktu yang singkat menghasilkan gas hidrogen jika direaksikan dengan basa kuat, diantaranya natrium hidroksida. Alasan digunakannya Al juga yaitu karena pada deret kereaktifan logam, posisi Al berada di sebelah kiri hydrogen, sehingga bersifat reaktif atau semakin mudah melepas electron dan semakin mudah mengalami oksidasi (reduktor yang kuat), sehingga memenuhi syarat untuk membentuk gas hydrogen

Reaksi aluminium dengan basa menghasilkan gas hidrogen. Aluminium oksida juga dapat menunjukkan sifat asamnya, dapat dilihat dalam reaksi dengan basa seperti larutan kalium hidroksida. Berbagai aluminat dapat terbentuk – senyawa dimana aluminium ditemukan dalam ion negatif. Hal ini mungkin karena aluminium memiliki kemampuan untuk membentuk ikatan kovalen dengan oksigen. Pada contoh kalium, perbedaan elektronegativitas antara kalium dan oksigen terlalu besar untuk membentuk ikatan selain ikatan ionik. Tetapi elektronegativitas meningkat dalam satu periode – sehingga perbedaan elektronegativitas antara aluminium dan oksigen lebih kecil. Hal ini menyebabkan terbentuknya ikatan kovalen diantara keduanya. Berikut reaksi antara Aluminium dengan basa larutan kalium hidroksida.



A. Sifat-sifat Logam Aluminium

a. Sifat-sifat Fisik

Tabel 4. Sifat Fisik Aluminium

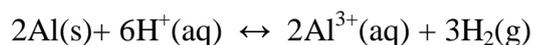
Parameter	Keterangan
Jenis Wujud (250C)	Logam Padatan
Densitas(g/cm ³)	2,698660
Titik leleh (°C)	37
Titik didih (°C)	2.467
Jari-jari atom (pm)	143
Jari-jari ion (pm)*	53
Energi ionisasi (kj/mol)	577,6
Elektronegativitas	1,5
Potensial Reduksi Standar (V) [#]	1,676
Kekerasan ^ϕ	2,75
Toksitas	non fisik

b. Sifat-sifat Kimia

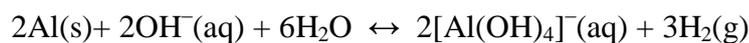
Aluminium merupakan logam yang aktif karena mudah teroksidasi menjadi ion +3. Logam ini sebagai agen pereduksi yang baik. Sifat sebagai agen pereduksi ini menjadikan aluminium sering digunakan dalam produksi logam-logam tertentu untuk mendapatkan logam bebas. Reaksi seperti yang diuraikan ini disebut dengan *reaksi thermit*.



Aluminium apabila beraksi dalam suasana asam menghasilkan H₂



Aluminium juga dapat bereaksi dalam suasana basa.



Serbuk aluminium mudah teroksidasi oleh udara atau oksidan lainnya menghasilkan panas yang tinggi. Dengan sifat ini aluminium sering digunakan pada bahan bakar roket dan proses peledakan.

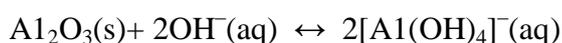
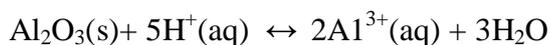


B. Senyawa-senyawa Aluminium dan Paduan Aluminium

a. Aluminium oksida

Aluminium adalah sebuah senyawa kimia dari aluminium dan oksigen dengan rumus kimia Al_2O_3 . Nama mineralnya adalah alumina dan dalam bidang pertambangan, keramik dan teknik material senyawa ini lebih banyak disebut dengan nama alumina.

Aluminium oksidasi dapat bereaksi dalam suasana asam dan basa (amfoter), tetapi tidak dalam suasana netral.



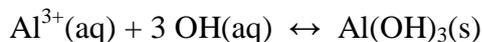
Aluminium oksida adalah insulator (penghambat) panas dan listrik yang baik. Umumnya Al_2O_3 terdapat dalam bentuk kristalin yang disebut corundum atau α -aluminium oksida. Al_2O_3 dipakai sebagai bahan abrasif dan sebagai komponen dalam alat pemotong, karena sifat kekerasannya.

Aluminium oksida berperan penting dalam ketahanan logam aluminium terhadap perkaratan dengan udara. Logam aluminium sebenarnya amat mudah bereaksi dengan oksigen di udara. Aluminium bereaksi dengan oksigen membentuk aluminium oksida, yang terbentuk sebagai lapisan tipis yang dengan cepat menutupi permukaan aluminium. Lapisan ini melindungi logam aluminium dari oksidasi lebih lanjut. Ketebalan lapisan ini dapat ditingkatkan melalui proses anodisasi. Beberapa alloy (paduan logam), seperti perunggu aluminium, memanfaatkan sifat ini dengan menambahkan aluminium pada alloy untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi. Al_2O_3 yang dihasilkan melalui anodisasi bersifat amorf, namun beberapa proses oksidasi seperti *plasma electrolytic oxydation* menghasilkan sebagian besar Al_2O_3 dalam bentuk kristalin, yang meningkatkan kekerasannya.

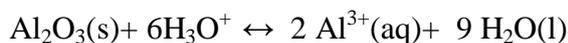
Oksida aluminium dapat diperoleh dari pemanasan hidroksida dibawah 600°C larut dalam asam maupun basa, dengan kata lain bersifat amfoter.

b. Aluminium Hidroksida

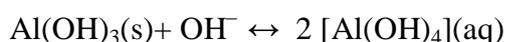
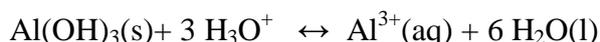
$\text{Al}(\text{OH})_3$ yang berwarna putih dan bersifat sukar larut dalam air. Maka itu, bila ditambahkan basa akan diperoleh endapan putih-gelatin.



Hidroksida aluminium juga bersifat amfoter.



Ion tetrahidroksoaaluminat(III)



Ion tetrahidroksoaaluminat(III)

2.9 Menghitung Jumlah Gas pada Proses

2.9.1 Teori Hukum Faraday

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

Hukum I Faraday menyatakan bahwa Massa zat yang dihasilkan pada suatu elektrode selama proses elektrolisis berbanding lurus dengan muatan listrik yang digunakan. Besarnya muatan listrik yang terjadi dalam sel merupakan hasil kali antara kuat arus yang dialirkan dengan lamanya waktu elektrolisis. Pernyataan ini merupakan prinsip dasar Hukum Faraday yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Dalam sel Elektrokimia, massa yang diendapkan pada suatu elektroda sebanding dengan besarnya muatan listrik (aliran elektron) yang terlibat dalam suatu sel.
2. Massa ekuivalen zat yang diendapkan pada elektrode akan setara dengan muatan listrik yang dialirkan ke dalam sel

Secara Aljabar Hukum Faraday I dapat di formulasikan sebagai berikut :

$$w = \frac{e i t}{F}$$

Dimana :

W = massa zat, gram

E = massa ekuivalen $(M/\text{valensi})$

i = kuat arus (ampere)

t = waktu (detik)

F = Tetapan Faraday (96500 Coulomb)

Muatan 1 mol elektron sama dengan $6.02 \times 10^{23} \times 1.6021 \times 10^{-19}$ atau sama dengan 96500 Coulomb. Dimana, muatan listrik sebesar 96500 Coulomb disebut faraday.

2.9.2 Hukum Gas Ideal

Gas ideal adalah gas teoritis yang terdiri dari partikel-partikel titik yang bergerak secara acak dan tidak saling berinteraksi. Konsep gas ideal sangat berguna karena memenuhi hukum gas ideal, sebuah persamaan keadaan yang disederhanakan, sehingga dapat dianalisis dengan mekanika statistika.

Pada kondisi normal seperti temperatur dan tekanan standar, kebanyakan gas nyata berperilaku seperti gas ideal. Banyak gas seperti nitrogen, oksigen, hidrogen, gas mulia dan karbon dioksida dapat diperlakukan seperti gas ideal dengan perbedaan yang masih dapat ditolerir. Secara umum, gas berperilaku seperti gas ideal pada temperatur tinggi dan tekanan rendah, karena kerja yang melawan gaya intermolekuler menjadi jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan energi kinetik partikel, dan ukuran molekul juga menjadi jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan ruangan kosong antar molekul.

Model gas ideal tak dapat dipakai pada suhu rendah atau tekanan tinggi, karena gaya intermolekuler dan ukuran molekul menjadi penting. Model gas ideal juga tak dapat dipakai pada gas-gas berat seperti refrigeran atau gas dengan gaya intermolekuler kuat, seperti uap air. Pada beberapa titik ketika suhu rendah dan tekanan tinggi, gas nyata akan menjalani fase transisi menjadi liquid atau solid.

Model gas ideal tidak dapat menjelaskan atau memperbolehkan fase transisi. Hal ini dapat dijelaskan dengan persamaan keadaan yang lebih kompleks. Pada Gas Ideal formula dapat dijelaskan sebagai berikut :

$$PV = nRT$$

Sehingga,

$$\frac{P_1 \times v_1}{P_2 \times v_2} = \frac{n R T_1}{n R T_2}$$

Menjadi ;

$$v_2 = \frac{P_1 \times v_1 \times T_1}{P_2 \times T_1}$$

Dimana :

P = Tekanan Tabung Penampung Gas (atm)

v₁ = Volume Awal (liter)

v₂ = Volume Akhir (liter)

n = Mol gas H₂

R = Konstanta Gas 0,082 L·atm·K⁻¹·mol⁻¹

T = Suhu (K)

(Sumber : Hougen, 1960)