

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 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. Anoda adalah tempat terjadinya reaksi reduksi yang elektrodanya negative (-) dan Katoda 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 kesetabilan 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. Jika suatu beda potensial listrik ditempatkan pada ujung-ujung sebuah konduktor, muatan-muatan Bergeraknya akan berpindah, menghasilkan arus listrik. Konduktivitas listrik didefinisikan sebagai ratio rapat arus terhadap kuat medan listrik. Konduktifitas

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 Perekasi

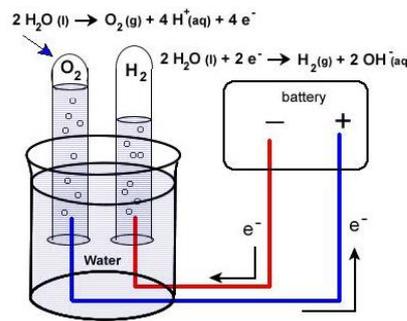
Semakin besar konsentrasi suatu larutan pereaksi maka akan semakin besar pula laju reaksinya. Ini dikarenakan dengan prosentase katalis yang semakin tinggi dapat mereduksi hambatan pada elektrolit. Sehingga transfer elektron dapat lebih cepat meng-elektrolisis elektrolit dan didapat ditarik garis lurus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

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

Faktor yang mempengaruhi elektrolisis air :

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



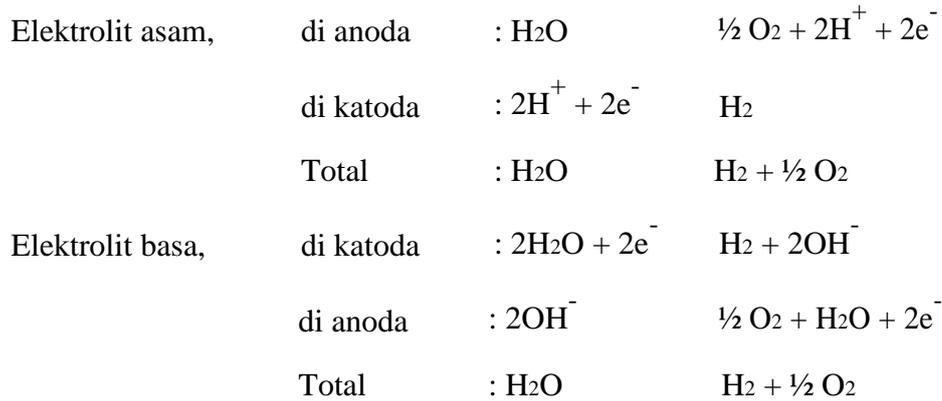
Gambar 1. Elektrolisis Air

(Sumber : Jurnal UNAS Ecpowerbooster Teknologi HHO)

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 energy 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.



2.3 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 electron oleh suatu zat.

Tabel 1. 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 | $\text{NaCl}, \text{NaOH},$ | $\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^-$ |
| | - 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 | $\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$ $\text{KOH} \rightarrow \text{K}^+ + \text{OH}^-$ |
| Elektrolit Lemah | - Terionisasi sebagian | | $\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{H}^+ +$ CH_3COOH^- |
| | - Menghantarkan arus listrik | $\text{CH}_3\text{COOH},$ | |
| | - Lampu menyala redup | $\text{N}_4\text{OH}, \text{HCN}$ | $\text{HCN} \rightarrow \text{H}^+ + \text{CN}^-$ |
| Non Elektrolit | - Terdapat gelembung gas | dan $\text{Al}(\text{OH})_3$ | $\text{Al}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{Al}^{3+} + \text{OH}^-$ |
| | - Tidak Terionisasi | | $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ |
| | - Tidak menghantarkan arus Listrik | $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ | $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ |
| | - Lampu tidak menyala | $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ | $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ |
| | - Tidak terdapat gelembung Gas | $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ | |

(Sumber : Hiskia Achmad , 2001)

2.3.1 Jenis Elektrolit

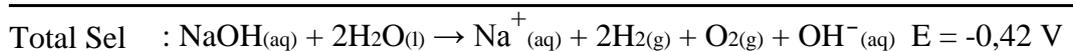
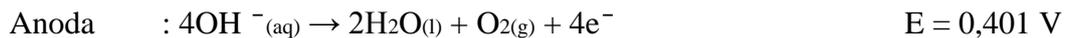
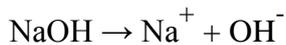
Berdasarkan daya hantarnya larutan elektrolit terbagi menjadi tiga, yaitu :

1. Larutan Elektrolit Kuat

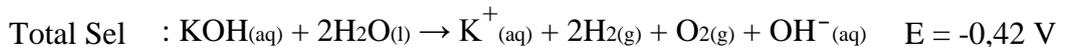
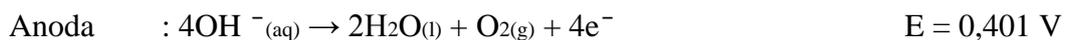
Larutan elektrolit kuat adalah larutan yang banyak menghasilkan ion – ion karena terurai sempurna, maka harga derajat ionisasi (α) = 1. Beberapa elektrolit seperti kalium klorida, natrium hidroksida, natrium nitrat terionisasi sempurna menjadi ion-ionnya dalam larutan. Elektrolit yang terionisasi sempurna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



(Sumber : Hiskia Achmad , 2001)

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 H₂ dan O₂ di dalam senyawa air sehingga H₂ dan O₂ semakin banyak.

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.

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



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:

- 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 H₂S.

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. Yang tergolong jenis larutan ini adalah larutan urea, larutan sukrosa, larutan glukosa, alkohol dan lain–lain.

2.4 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).

Tabel 2. Nilai Potensial Reduksi 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 |
| 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 |
| 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 ⁻ /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 : Hiskia Achmad , 2001)

2.5 Gas Hidrogen

Hidrogen adalah unsur kimia pada table periodic 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).

2.5.1 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 .Gambar 5 adalah karakteristik gas hidrogen dalam kontek adanya tambahan *energy* dari luar terhadap campuran udara (prosentase volume).

Tabel 3. 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 |

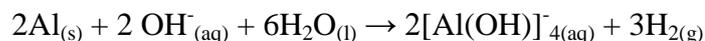
(Sumber; <http://id.wikipedia.org/wiki/Hidrogen,2013>)

2.6 Aluminium

2.6.1 Aluminium dan Sumbernya

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.



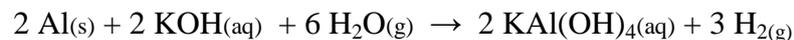
Produksi hidrogen dengan kaleng aluminium bekas akan menghemat sumber daya alam dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Chen et al. telah mengusulkan bahwa kebutuhan energi dari generasi hidrogen berbasis aluminium limbah hanya 2% dan jumlah emisi CO₂ adalah 4% dari metode konvensional (Chen, et al. 2013). 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. 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 hidrogen.

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.



2.6.2 Sifat-sifat Logam Aluminium

1. Sifat-sifat Fisik

Tabel 4. Sifat Fisik Aluminium

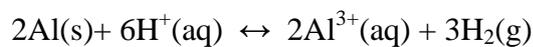
| Parameter | Keterangan |
|--|---------------|
| Jenis Wujud (250C) | Logam Padatan |
| Densitas(g/cm ³) | 2,698660 |
| Titik leleh (°C) | 37 |
| Titik didih (°C) | 2.467 |
| Jari-jari atom (pm) | 143 |
| Jari-jari ion (pm)* | 53 |
| Energi ionisasi (kJ/mol) | 577,6 |
| Elektronegativitas | 1,5 |
|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

2. Sifat-sifat Kimia

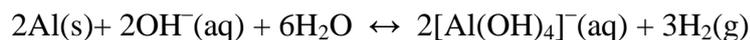
Aluminium merupakan logam yang aktif karena mudah teroksidasi menjadi ion +3. Logam ini sebagai agen pereduksi yang baik. Sifat sebagai agen pereduksi ini menjadikan aluminium sering digunakan dalam produksi logam-logam tertentu untuk mendapatkan logam bebas. Reaksi seperti yang diuraikan ini disebut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



Aluminium apabila beraksi dalam suasana asam menghasilkan H_2



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.

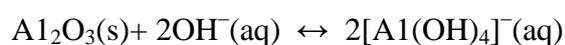
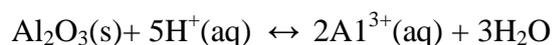


2.6.3 Senyawa-senyawa Aluminium dan Paduan Aluminium

1. Aluminium oksida

Aluminium oksida 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 oksida 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.

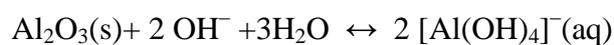
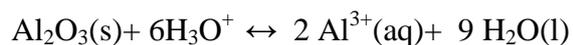
Oksida aluminium dapat diperoleh dari pemanasan hidroksida dibawah 600°C larut dalam asam maupun basa, dengan kata lain bersifat amfoter.

2. Aluminium Hidroksida

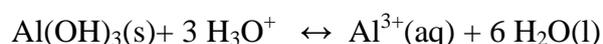
$\text{Al}(\text{OH})_3$ yang berwarna putih dan bersifat sukar larut dalam air. Maka itu, bila ditambahkan basa akan diperoleh endapan putih-gelatin.

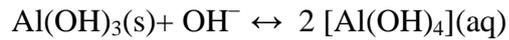


Hidroksida aluminium juga bersifat amfoter.



Ion tetrahidroksoaluminat(III)





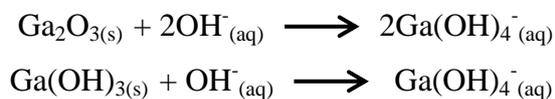
Ion tetrahidroksoaaluminat(III)

2.7 Gallium

Gallium merupakan benda padat yang mudah melebur pada suhu rendah namun mencair lebih lambat di atas suhu kamar dan memang akan melebur di tangan. Terbentuk dalam jumlah sedikit dalam bauksit dan bijih seng. Penerapan pentingnya ialah dalam senyawa galium arsenida, digunakan sebagai semikonduktor, terutama dalam diode pemancar cahaya.

Galium diperankan sebagai promotor untuk reaksi pasivasi dimana galium bersifat. Dalam kondisi standar gallium adalah logam lunak dengan warna keperakan. Gallium sangat rapuh dan akan mudah pecah.

Gallium tidak dapat bereaksi secara langsung dengan basa, yang dapat bereaksi dengan basa adalah senyawa galium oksida dan gallium hidroksida. Reaksi gallium oksida maupun gallium hidroksida dengan basa berlebih menghasilkan senyawa kompleks yang larut dalam air. Persamaan reaksi dalam bentuk ionnya:



Ketika aluminium bereaksi dengan air ia akan membentuk suatu senyawa baru. Karena sifat aluminium yang menyukai oksigen, maka ia akan mudah sekali bereaksi dan membentuk senyawa 2Al(OH)_3 yang mengakibatkan aluminium terkorosi. Hal ini justru akan mengganggu Al ketika bereaksi dengan larutan elektrolit untuk menghasilkan hidrogen. Untuk itu diperlukan Reaksi pasivasi pada aluminium dengan menambahkan logam galium, hal ini dapat dilakukan dengan melarutkan logam aluminium dengan logam galium di atas suhu kamar. dan melindungi atau melapisi bagian permukaan logam aluminium. Oleh sebab itu, aluminium yang sudah berada pada kondisi jenuh yang dikarenakan ketahanan galium tidak terlalu baik lagi melindungi aluminium pada saat reaksi berlangsung lama. Maka dilakukan proses elektrolisis untuk menjadikan logam

aluminium kembali ke keadaan semula. Untuk proses recycle $2\text{Al}(\text{OH})_3$ ke 2Al kembali. (JM Woodall, 2007).

2.8 Studi Kelayakan

Studi kelayakan dilakukan dengan perhitungan nilai uang untuk mengkaji kelayakan investasi atau aspek finansial suatu proyek/usaha. Dalam aspek finansial terdapat beberapa metode, adapun metode yang digunakan yaitu *Net Present Value* (NPV), *Net Benefit Cost Ratio* (Net B/C), *Payback Period* (PBP), dan *Internal Rate of Return* (IRR).

2.8.1 *Net Present Value* (NPV)

Net Present Value (NPV) adalah selisih harga sekarang dari aliran kas bersih (Net Cash Flow) di masa datang dengan harga sekarang dari investasi awal pada tingkat bunga tertentu. Untuk menghitung NPV dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\text{NPV} = \sum_{t=1}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1+i)^t}$$

Keterangan: B_t = Penerimaan yang diperoleh pada tahun ke-t

C_t = Biaya yang dikeluarkan pada tahun ke-t

i = Tingkat suku bunga (discount rate)

t = Tahun

n = Jumlah tahun

Dengan kriteria:

$\text{NPV} > 0 \rightarrow$ maka secara finansial usaha layak untuk dilaksanakan karena manfaat yang diperoleh lebih besar dari biaya.

$\text{NPV} < 0 \rightarrow$ maka secara finansial usaha tersebut tidak layak untuk dilaksanakan, karena manfaat yang diperoleh lebih kecil dari biaya atau cukup untuk menutup biaya yang dikeluarkan.

$\text{NPV} = 0 \rightarrow$ maka secara finansial usaha tidak menguntungkan dan juga tidak rugi, karena manfaat yang diperoleh hanya cukup untuk menutupi biaya yang dikeluarkan.

2.8.2 *Net Benefit Cost Ratio* (Net B/C)

Net Benefit Cost Ratio (Net B/C) adalah tingkat besarnya manfaat tambahan pada setiap tambahan biaya sebesar satu satuan berupa perbandingan antara jumlah NPV yang positif (sebagai pembilang) dengan NPV yang negative (sebagai penyebut). Dengan criteria kelayakan investasi berdasarkan nilai Net B/C adalah semakin besar Net B/C, maka usaha tersebut semakin menguntungkan dan layak dijalankan.

$$\text{Net B/C} = \left| \frac{\sum_{t=1}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{(C_t - B_t)}{(1+i)^t}} \right| \text{ ---- } \left| \frac{(B_t - C_t) > 0}{(B_t - C_t) < 0} \right|$$

Keterangan: B_t = Penerimaan yang diperoleh pada tahun ke-t
 C_t = Biaya yang dikeluarkan pada tahun ke-t
 i = Tingkat suku bunga (discount rate)
 t = Tahun
 n = Jumlah tahun

Dengan kriteria:

Net B/C > 1 → maka usaha layak dilaksanakan

Net B/C < 1 → maka usaha tidak layak dilaksanakan

2.8.3 *Payback Period* (PBP)

Payback period (masa pembayaran kembali) didefinisikan sebagai jangka waktu kembalinya keseluruhan investasi yang ditanamkan, melalui keuntungan yang diperoleh suatu proyek. Dengan criteria investasi, semakin cepat tingkat pengembalian investasi maka investasi tersebut dinilai semakin baik untuk dilaksanakan.

$$PP = \frac{I}{Ab}$$

Keterangan: PP = Payback Period
 I = Jumlah Modal Investasi
 Ab = manfaat bersih yang dapat diperoleh setiap tahunnya

2.8.4 *Internal Rate of Return (IRR)*

Internal Rate of Return (IRR) adalah kemampuan suatu proyek untuk menghasilkan pengembalian atau dianggap sebagai tingkat keuntungan atas investasi bersih yang dapat dicapainya. Dengan kriteria kelayakan investasi berdasarkan nilai IRR adalah bila nilai lebih besar dari diskonto atau sama dengan NPV maka proyek tersebut menguntungkan dan layak dilaksanakan.

$$IRR = i' + \left[\frac{NPV^-}{NPV^+ - NPV^-} x (i'' - i') \right]$$

Keterangan: i' = Tingkat suku bunga yang menghasilkan nilai NPV positif

i'' = Tingkat suku bunga yang menghasilkan NPV negatif

NPV^- = NPV pada tingkat bunga i'

NPV^+ = NPV pada tingkat bunga i''

Kriteria yang berlaku :

$IRR > i$; maka usaha layak dilanjutkan

$IRR < i$; maka usaha tidak layak dilanjutkan atau lebih baik dihentikan

2.9 Menghitung Jumlah Gas pada Proses Elektrolisis

2.9.1 Teori Hoffman

Hukum Hoffman 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 Hoffman 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.

Ideal gas untuk mencari mol hidrogen

$$n_{H_2} = PV/RT \quad \dots(\text{pers 2})$$

mol electron persatuan waktu

$$n_e = it/Ne \quad \dots(\text{pers 3})$$

koefisien yang setara menggunakan

$$n_e = 2 n_{H_2} \quad \dots(\text{pers 4})$$

(Sumber : Hoffman, 2000)

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 molekuler 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 :

$$PV = nRT \quad \dots\text{Pers 5}$$

Sehingga,

$$\frac{P_1 \times v_1}{P_2 \times v_2} = \frac{n R T_1}{n R T_2} \quad \dots\text{Pers 6}$$

Menjadi ;

$$v_2 = \frac{P_1 \times v_1 \times T_1}{P_2 \times T_1} \quad \dots\text{Pers 7}$$

Dimana :

P = Tekanan Tabung Penampung Gas (atm)

v_1 = Volume Awal (liter)

v_2 = Volume Akhir (liter)

n = Mol gas H₂

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

T = Suhu (K)

(Sumber : Hougen,1960)