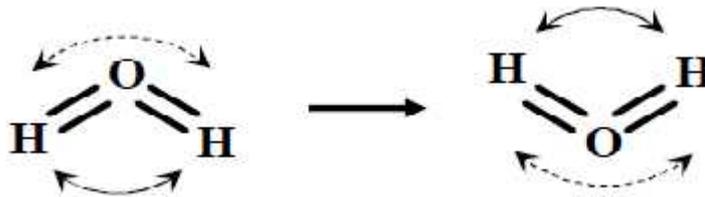


## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Air

Pada air terdapat ikatan tiga molekul berbeda muatan yang saling tarik-menarik dan juga tolak-menolak sekaligus, yakni muatan positif yang dimiliki oleh 2 molekul H dan muatan negatif yang dimiliki sebuah molekul O. Molekul O menarik kedua molekul tersebut, namun gaya tolak terbentuk akibat kedua molekul H yang ditarik oleh O memiliki muatan yang sama-sama positif.



Sumber: Hamdan, 2009

Gambar 3. Gaya Tarik-Menarik pada Molekul Air

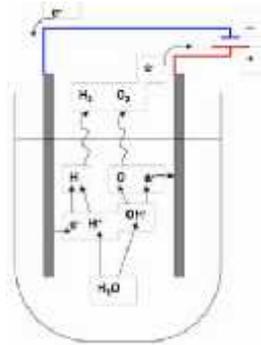
Gerakan antara menarik dan menolak itu kemudian membentuk pola gerakan mengepak seperti sayap burung yang sedang terbang. Oleh gerakan ini kemudian bergerak secara kontinyu dan massal dalam kumpulan ikatan besar berupa air. Bila air mengalami gangguan baik itu berupa pemberian panas, pancaran gelombang elektromagnetik, maupun beda potensial maka molekul-molekul penyusun di dalamnya akan mengalami perubahan gerak. Oleh sebab itu, air disebut sebagai cairan elektrolit.

Bila air diberi perlakuan panas maka yang terjadi adalah makin panas suhunya, maka makin cepat gerakan molekul-molekul di dalamnya. Pada suhu tertentu air kemudian lepas dan membentuk ikatan yang kecil berupa uap air.

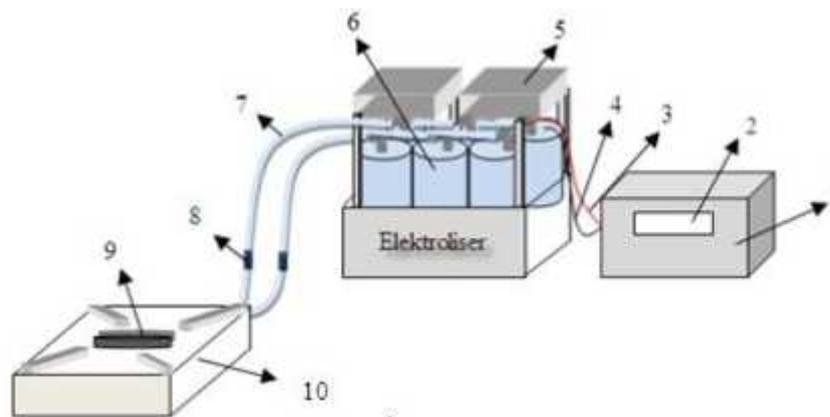
### 2.2 Elektrolisis Air

Elektrolisis air pertama kali dilakukan oleh William Nicholson dan Anthony Carlisle kira-kira tahun 1800. Elektrolisis merupakan proses kimia yang mengubah energi listrik menjadi energi kimia. Proses elektrolisis memisahkan molekul air menjadi gas hidrogen dan oksigen 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. Pergerakan elektron pada proses elektolisa dapat dilihat pada Gambar 4.



Sumber: Rusminto, 2009  
Gambar 4. Elektrolisis Air



Sumber: Rusminto, 2009  
Gambar 5. Konstruksi Alat Kompor Air

Keterangan:

- |                            |                         |
|----------------------------|-------------------------|
| 1. Kotak Kontrol           | 6. Tabung Elektroliser  |
| 2. LCD                     | 7. Selang Vakum         |
| 3. Kabel Elektroda Positif | 8. <i>Valve</i> searah  |
| 4. Kabel Elektroda Negatif | 9. <i>Burner</i> Kompor |
| 5. Kipas                   | 10. Kompor              |

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).

Persamaan kimia elektrolisis air adalah sebagai berikut:



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



$\text{H}^+$  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 untuk gelembung dan kemudian naik ke permukaan.



Elektroda positif telah menyebabkan ion hidroksida ( $\text{OH}^-$ ) 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.

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

### **2.3 Elektrolit**

Elektrolit adalah suatu zat terlarut atau terurai ke dalam bentuk ion-ion dan selanjutnya larutan menjadi konduktor elektrik. Umumnya, air adalah pelarut (solven) yang baik untuk senyawa ion dan mempunyai sifat menghantarkan arus listrik. Contohnya apabila elektroda dicelupkan ke dalam air murni, bola lampu tidak akan menyala karena air tersebut merupakan konduktor listrik yang buruk. Apabila suatu senyawa ion yang larut seperti NaCl ditambahkan pada air, maka solutnya akan larut sehingga bola lampu mulai menyala dengan terang. Senyawa seperti NaCl yang membuat larutan menjadi konduktor listrik.

Elektrolit merupakan gabungan antara air dan katalis. Katalis merupakan suatu zat yang dapat mempercepat suatu laju reaksi, namun ia sendiri secara kimiawi, tidak berubah pada akhir reaksi. Katalis digunakan untuk mempercepat laju reaksi menghasilkan gas HHO pada proses elektrolisis. Larutan elektrolit merupakan larutan yang dibentuk dari zat elektrolit, sedangkan zat elektrolit itu

sendiri merupakan zat-zat yang di dalam air terurai membentuk ion-ionnya. Zat elektrolit yang terurai sempurna di dalam air disebut elektrolit kuat dan larutan yang dibentuknya disebut larutan elektrolit kuat. Zat elektrolit yang hanya terurai sebagian membentuk ion-ionnya di dalam air disebut elektrolit lemah dan larutan yang dibentuknya disebut larutan elektrolit lemah.

Pada tahun 1884, Svante Arrhenius, ahli kimia terkenal dari Swedia mengemukakan teori elektrolit yang sampai saat ini teori tersebut tetap bertahan. Menurut Arrhenius, larutan elektrolit dalam air terdisosiasi ke dalam partikel-partikel bermuatan listrik positif dan negatif yang disebut ion (ion positif dan ion negatif). Jumlah muatan ion positif akan sama dengan jumlah muatan ion negatif, sehingga muatan ion-ion dalam larutan netral. Ion-ion inilah yang bertugas menghantarkan arus listrik.

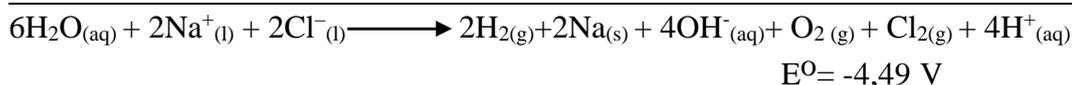
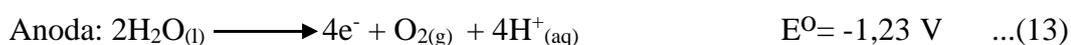
Berdasarkan percobaan yang dilakukan oleh Michael Faraday, diketahui bahwa jika arus listrik dialirkan ke dalam larutan elektrolit akan terjadi proses elektrolisis yang menghasilkan gas. Gelembung gas ini terbentuk karena ion positif mengalami reaksi reduksi dan ion negatif mengalami oksidasi.

Sel elektrolisis adalah sel yang menggunakan arus listrik untuk menghasilkan reaksi redoks. 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 dapat diuraikan dengan menggunakan listrik dalam sel elektrolisis.

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, Platina, dan Emas. 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. Anoda bermuatan positif dan menarik anion-anion yang akan teroksidasi menjadi gas.

Berikut ini merupakan reaksi elektrolisis pada air dengan larutan elektrolit NaCl:



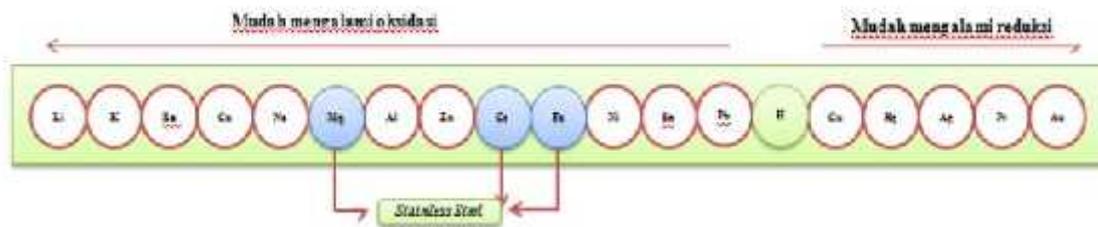
Tabel 2. Potensial Reduksi Standar

Setengah Reaksi	$E^0$ (V)
$\text{Na}^+_{(aq)} + \text{e}^- \longrightarrow \text{Na}_{(s)}$	-2,71
$2\text{Cl}^-_{(aq)} \longrightarrow \text{Cl}_{2(g)} + 2\text{e}^-$	-1,36
$2\text{H}_2\text{O}_{(l)} \longrightarrow \text{O}_{2(g)} + 4\text{H}^+_{(aq)} + 4\text{e}^-$	-1,23
$2\text{H}_2\text{O}_{(l)} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_{2(g)} + 2\text{OH}^-_{(aq)}$	-0,83

Sumber: Murry, 2001

## 2.4 Elektroda

Sel elektrolisis atau elektroda adalah sel elektrokimia yang bereaksi secara tidak spontan ( $E_0$  sel (-) atau  $G > 0$ ) karena energi listrik disuplai dari sumber luar dan dialirkan melalui sebuah sel. Elektrolisis diartikan juga sebagai peristiwa penguraian zat elektrolit oleh arus listrik searah dan mengalami perubahan-perubahan kimia. Perubahan kimia yang terjadi selama elektrolisis dapat dilihat sekitar elektroda. Elektroda merupakan suatu sistem dua fase yang terdiri dari sebuah penghantar elektrolit (misalnya logam) dan sebuah penghantar ionik. Elektroda positif (+) disebut anoda sedangkan elektroda negatif (-) adalah katoda. Reaksi kimia yang terjadi pada 4 elektroda selama terjadinya konduksi listrik disebut elektrolisis dan alat yang digunakan untuk reaksi ini disebut sel elektrolisis. Sel elektrolisis memerlukan energi untuk memompa elektron. Jenis elektroda yang akan digunakan pada penelitian ini adalah stainless steel.



Sumber: Panut, 2009

Gambar 6. Deret Volta

Baja stainless merupakan baja paduan yang mengandung minimal 10,5% Cr. Sedikit baja stainless mengandung lebih dari 30% Cr atau kurang dari 50% Fe. Daya tahan Stainless steel terhadap oksidasi yang tinggi di udara dalam suhu lingkungan biasanya dicapai karena adanya tambahan minimal 13% (dari berat) krom. Krom membentuk sebuah lapisan tidak aktif Kromium (III) Oksida ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) ketika bertemu oksigen. Lapisan ini terlalu tipis untuk dilihat, sehingga logamnya akan tetap berkilau. Logam ini menjadi tahan air dan udara, melindungi logam yang ada di bawah lapisan tersebut. Fenomena ini disebut *passivation* dan dapat dilihat pada logam yang lain, seperti pada aluminium dan titanium. Pada dasarnya untuk membuat besi yang tahan terhadap karat, krom merupakan salah satu bahan paduan yang paling penting.

Untuk mendapatkan besi yang lebih baik lagi, diantaranya dilakukan penambahan beberapa zat-zat berikut, Penambahan Molibdenum (Mo) bertujuan untuk memperbaiki ketahanan korosi pitting dan korosi celah Unsur karbon rendah dan penambahan unsur penstabil karbida (titanium atau niobium) bertujuan menekan korosi batas butir pada material yang mengalami proses sensitasi. Penambahan kromium (Cr) bertujuan meningkatkan ketahanan korosi dengan membentuk lapisan oksida ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) dan ketahanan terhadap oksidasi temperatur tinggi. Penambahan nikel (Ni) bertujuan untuk meningkatkan ketahanan korosi dalam media pengkorosi netral atau lemah. Nikel juga meningkatkan keuletan dan mampu bentuk logam. Penambahan nikel meningkatkan ketahanan korosi tegangan. Penambahan unsur molybdenum (Mo) untuk meningkatkan ketahanan korosi pitting di lingkungan klorida. Unsur aluminium meningkatkan pembentukan lapisan oksida pada temperatur tinggi.

## 2.5 Hidrogen

Hidrogen adalah unsur yang terdapat di alam yang kelimpahan terbesar, tetapi hanya sedikit tertinggal di bumi. Dari analisis spektrum sinar yang dipancarkan oleh bintang, disimpulkan bahwa bintang terutama terdiri dari hidrogen. Hidrogen sangat reaktif, sehingga hidrogen di bumi banyak ditemukan dalam bentuk senyawa air dengan komposisi hidrogen sebanyak 11,1% berat, hidrokarbon misalnya gas alam 25%, minyak bumi 14% dan karbohidrat, misalnya pati 6%. Beberapa sifat fisika dan kimia hidrogen sebagai berikut:

### Sifat Fisika

1. Lambang : H
2. Nomor atom : 1
3. Titik lebur :  $-259,14^{\circ}\text{C}$
4. Titik didih :  $-252,87^{\circ}\text{C}$
5. Warna : tidak berwarna
6. Bau : tidak berbau
7. Densitas :  $0,08988 \text{ g/cm}^3$  pada 293 K
8. Kapasitas panas :  $14,304 \text{ J/gK}$

### Sifat Kimia

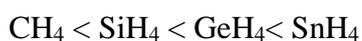
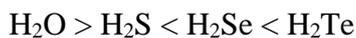
1. Panas fusi :  $0,117 \text{ kJ/mol H}_2$
2. Energi ionisasi :  $1312 \text{ kJ/mol}$
3. Afinitas elektron :  $72,7711 \text{ kJ/mol}$
4. Panas atomisasi :  $218 \text{ kJ/mol}$
5. Panas penguapan :  $0,904 \text{ kJ/mol H}_2$
6. Jumlah kulit : 1
7. Biloks minimum : -1
8. Elektronegatifitas : 2,18 (skala Pauli)
9. Konfig electron :  $1s^1$
10. Biloks maksimum : 1

11. Volume polarisasi :  $0,7 \text{ \AA}^3$   
 12. Struktur : hcp (hexagonal close packed) (padatan  $\text{H}_2$ )  
 13. Jari-jari atom : 25 pm (0,037 nm)  
 14. Konduktivitas termal : 0,1805 W/mK  
 15. Berat atom : 1,0079  
 16. Potensial ionisasi : 13,5984 eV

### 2.5.1. Ikatan Hidrogen

Dalam beberapa senyawa hidrogen, atom hidrogen menjembatani dua atom yang keelektronegatifannya besar, membentuk ikatan yang disebut ikatan hidrogen. Ikatan hidrogen terjadi antara atom yang kecil dan sangat elektronegatif seperti fluor, oksigen, dan nitrogen. Senyawa HF,  $\text{H}_2\text{O}$ , dan  $\text{NH}_3$  mempunyai ikatan hidrogen baik dalam keadaan padat maupun cairan. Karena ikatan ini dalam keadaan gas pun terjadi polimer HF.

Oleh karena pada proses pelelehan dan penguapan sejumlah ikatan hidrogen perlu diputuskan, senyawa ini mempunyai titik didih yang tinggi. Oleh karena itu urutan titik didih sebagai berikut:



Meskipun ikatan hidrogen relatif lemah ( $\sim 20 \text{ kJ}$ ) dibandingkan dengan ikatan kimia lainnya ( $20 \text{ kJ}$ ), ikatan hidrogen ini sangat penting dalam sistem kehidupan misalnya dalam protein yang terdapat pada ikatan hidrogen dalam gugus  $-\text{CO}$  dan gugus  $-\text{NH}$  (Achmad, 1992).

### 2.5.2. Hidrogen Sebagai Bahan Bakar

Keuntungan jika hidrogen digunakan sebagai bahan bakar yaitu:

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.
2. Bersama oksigen dapat digunakan dalam sel bahan bakar menghasilkan energi listrik.

Pembakaran hidrogen dapat menghasilkan kalor sebanyak 286 kJ per mol hidrogen. Pada tabel dibawah ini dapat dibandingkan kalor yang dihasilkan oleh hidrogen dengan kalor yang dihasilkan oleh bahan bakar lain.

Tabel 3. 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: Arbie, 2010

### 2.5.3. Penyimpanan Hidrogen

Hidrogen dapat disimpan dengan cara berikut:

1. Hidrogen dicairkan dan disimpan pada suhu  $-253^{\circ}\text{C}$ . Dalam hal ini memerlukan tangki khusus dan mahal. Hidrogen cair perlahan-lahan menguap dan dapat meledak. Energi untuk mencairkan hidrogen kira-kira 40% energi yang dihasilkan pada pembakaran.

2. Dapat disimpan dalam tangki berukuran tinggi kira-kira 30 kali dibandingkan tangki berisi bensin yang menghasilkan energi yang sama.
3. Dapat disimpan dalam aliansi logam. Hidrogen dapat menempati rongga diantara atom aliansi logam dan membentuk hidrida (hidrida interstisi). Hidrida logam ini aman untuk pengisian hidrogen karena tidak meledak jika gas dibakar.

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

#### **2.5.4. Penggunaan Hidrogen**

1. Sintesis amonia.
2. Pembuatan asam nitrat (oksidasi amonia menghasilkan NO; amonia diperoleh dari hasil Haber).
3. Pembuatan margarin. Minyak yang merupakan ester tidak jenuh diubah menjadi senyawa yang jenuh menggunakan katalis nikel Ramey.
4. Pembuatan bahan bakar "petroleum". Dengan menggunakan katalis, serbuk batubara diubah menjadi minyak hidrokarbon (petroleum hidrokarbon)
5. Sintesa metanol.
6. Hidrogen adalah gas yang paling ringan. Sering digunakan untuk balon meteorologi.
7. Digunakan sebagai cairan kriogenik untuk menghasilkan suhu rendah.
8. Dalam jangka panjang untuk mengatasi problema energi, hidrogen dapat menarik perhatian, karena bahan baku air berlimpah-limpah.

#### **2.6 Analisa Hidrogen Menggunakan Kromatografi Gas**

Kromatografi gas adalah suatu metode analisis yang didasarkan pemisahan fisik zat organik atau anorganik yang stabil pada pemanasan dan mudah diadsirikan. Pada umumnya kegunaan kromatografi gas adalah untuk melakukan pemisahan dan identifikasi senyawa yang mudah menguap dan juga untuk melakukan analisis kualitatif dan kuantitatif senyawa dalam campuran. Dalam kromatografi gas, fase gerak adalah gas dan zat terlarut terpisah sebagai uap.

Pemisahan tercapai dengan partisi sampel antara fase gas bergerak dan fase diam berupa cairan dengan titik didih tinggi (tidak mudah menguap) yang terikat pada zat padat penunjangnya.

Adapun mekanisme kerja kromatografi gas adalah sebagai berikut: gas bertekanan tinggi dialirkan ke dalam kolom yang berisi fasa diam, kemudian sampel akan diinjeksikan ke dalam aliran gas dan ikut terbawa oleh gas ke dalam kolom. Di dalam kolom akan terjadi proses pemisahan dari sampel menjadi komponen-komponen penyusunnya. Komponen-komponen tersebut satu per satu akan keluar kolom dan mencapai detektor yang diletakkan di ujung akhir kolom. Hasil pendeteksian direkam oleh rekorder dan dikenal sebagai kromatogram. Jumlah puncak pada kromatogram menyatakan jumlah komponen yang terdapat dalam cuplikan dan kuantitas suatu komponen ditentukan berdasarkan luas puncaknya. Berikut ini merupakan contoh kromatogram hasil dari analisis menggunakan kromatografi gas.

## 2.7 Perhitungan Penentuan Jumlah Gas H<sub>2</sub> yang dihasilkan

### 2.7.1 Secara Teori

Perhitungan jumlah gas H<sub>2</sub> yang di dapat dengan menggunakan hukum gas ideal

$$PV = nRT \quad \dots(15)$$

$$n = \frac{RT}{PV} \quad \dots(16)$$

Dimana:

P = Tekanan Tabung Penampung Gas (atm)

V = Volume Gas Penampung (liter)

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

R = Konstanta Gas 0,082 L·atm·K<sup>-1</sup>·mol<sup>-1</sup>

T = Suhu (K)

### 2.7.2 Secara Praktek

*Dari hukum Archimedes yang berbunyi: “Jika sebuah benda dicelupkan ke dalam zat cair, maka benda tersebut akan mendapat gaya yang disebut gaya apung (gaya ke atas) sebesar berat zat cair yang dipindahkannya”, kita dapat menentukan massa*

suatu benda yang masuk ke dalam cairan dengan melihat jumlah cairan yang berpindah ketika benda tersebut dimasukkan.

Jika benda tersebut dalam fase gas akan sulit untuk menentukan massanya. Jumlah cairan yang berpindah juga dapat dihitung sebagai volume, sehingga jika benda tersebut adalah fase gas maka kita dapat menentukan volumenya sesuai dengan volume cairan yang dipindahkannya.

Diketahui bahwa wadah penampung gas H<sub>2</sub> berbentuk silinder sehingga volumenya dapat ditentukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$V = r^2 t \quad \dots(17)$$

Dimana: V = Volume silinder  
 = konstanta lingkaran (3,14)  
 t = tinggi silinder

## 2.8 Perhitungan Debit Gas

Debit gas yang dihasilkan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q = V/t \quad \dots(18)$$

Dimana: Q = debit gas H<sub>2</sub>  
 V = volume gas yang dihasilkan  
 t = waktu proses elektrolisis

## 2.9 Perhitungan Energi yang digunakan pada proses elektrolisis

Pada proses elektrolisis air, jumlah energi yang digunakan dan persentase energi yang hilang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln \frac{Red}{Oks}$$

$$\ln \frac{Red}{Oks} = \ln K$$

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln K$$

$$\ln K = \frac{nFE^0}{RT} \quad \dots(19)$$

Sumber: Nernst, 2014

Dimana:

E = Potensial Sel

$E^0$  = Potensial Reduksi

R = Konstanta Gas  $0,082 \text{ L}\cdot\text{atm}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$

T = Suhu (K)

F = Konstanta Faraday (96500)

n = Jumlah Mol gas yang dihasilkan

K = Kesetimbangan

### Energi yang Disuplai

$$W = V.I.T \quad \dots(20)$$

Sumber: Rusmianto, 2009

Dimana:

I = Arus listrik (ampere)

V = Tegangan (*Volt*)

T = Waktu (*hours*)

W = Energi yang digunakan (*watt-hours*)

## 2.10 Menghitung Efisiensi, Heat Loss, dan Sfc (*Specific Fuel Consume*)

### Elektroliser

Pada penelitian ini untuk menghitung efisiensi dari suatu *electrolyzer* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\% \text{ Elect Efisiensi} = \frac{\text{Energi yang digunakan}}{\text{Energi yang disuplai}} \times 100 \% \quad \dots(21)$$

$$\% \text{ Heat Loss} = \frac{\text{Energi yang disuplai} - \text{Energi yang digunakan}}{\text{Energi yang disuplai}} \times 100\% \quad \dots(22)$$

$$\text{Sfc} = \frac{\text{Energi yang digunakan untuk proses elektrolisis}}{\text{jumlah mol gas hidrogen yang dihasilkan}} \quad \dots(23)$$