

BAB II

KAJIAN TEORI

2.1 Elektrolisis Air

Elektrolisa merupakan proses kimia yang merubah energi listrik menjadi energi kimia. Elektrolisis air adalah proses untuk menghasilkan gas Hidrogen (H_2) dan Oksigen (O_2) dengan pemanfaatan energi listrik pada sistem, yaitu menggunakan sumber arus listrik searah (DC). Arus searah dialirkan pada elektroda yang terdiri dari elektroda positif dan elektroda negatif. Elektroda positif adalah plat konduktor yang diberi tegangan positif dan elektroda negatif adalah plat konduktor yang diberi tegangan negatif. Proses elektrolisis ditemukan oleh Faraday tahun 1820.

Persamaan kimia elektrolisa air adalah sebagai berikut (Tjatur, 2015)

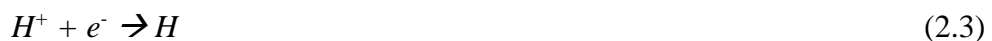
:



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



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



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

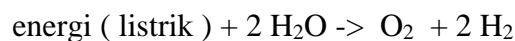


Elektroda positif telah menyebabkan ion hidroksida (OH^-) untuk bergerak ke anoda. Ketika mencapai anoda, anoda akan melepaskan kelebihan elektron yang diambil oleh hidroksida dari atom hidrogen sebelumnya, kemudian ion hidroksida bergabung dengan molekul hidroksida yang lain dan membentuk 1 molekul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

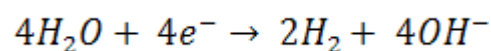


Molekul oksigen ini sangat stabil dan kemudian gelembungnya naik ke permukaan. Demikian seterusnya dan terjadi pengulangan proses. Reaksi-reaksi tersebut terjadi hanya tergantung pada jenis kation dalam larutan. Jika kation berasal dari logam dengan potensial electrode lebih rendah dari pada air, maka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

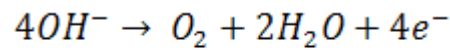
Elektrolisis air adalah peristiwa penguraian senyawa air (H_2O) menjadi gas oksigen (O_2) dan hidrogen (H_2) dengan menggunakan arus listrik yang melalui air tersebut.



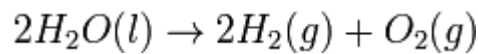
Pada katode, empat molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron sehingga tereduksi menjadi gas hidrogen (H_2) dan ion hidroksida (OH^-).



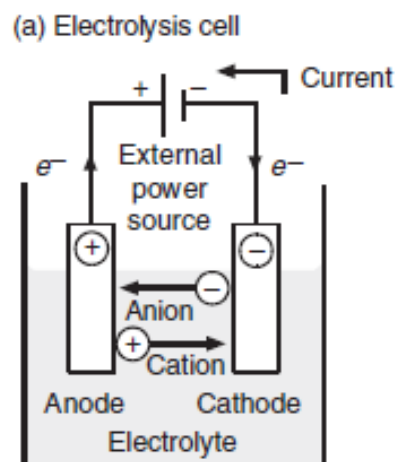
Sementara itu pada anode, dua molekul air terurai menjadi gas oksigen (O_2) dan melepaskan empat ion H^+ serta mengalirkan elektron ke katode. Ion H^+ dan OH^- mengalami netralisasi sehingga akan terbentuk kembali beberapa molekul air.



Reaksi keseluruhan yang setara dari elektrolisis air dapat dituliskan sebagai berikut :



Hidrogen dan oksigen yang dihasilkan dari reaksi ini akan membentuk gelembung pada elektrode dan dapat dikumpulkan. Prinsip ini kemudian dimanfaatkan untuk menghasilkan hidrogen peroksida (H_2O_2) yang dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan hidrogen.



Gambar 2.1 Ilustrasi elektrolisis

(http://www.nmsea.org/Curriculum/7_12/electrolysis/electrolysis.htm)

Hukum Faraday tentang elektrolisis :

1. Massa suatu zat yang dibebaskan atau diendapkan pada suatu elektroda sebanding dengan muatan listrik (yaitu banyaknya coulomb) yang melalui elektrolit
2. Massa berbagai zat yang dibebaskan atau diendapkan oleh kuantitas listrik yang sama (yaitu banyaknya coulomb yang sama) sebanding dengan bobot ekuivalen zat tersebut.

Arus listrik ialah laju aliran perdetik. Satuan SI, ampere (A) ialah laju aliran coulomb per detik ($1A = 1C/s$).

2.2 Percobaan Faraday

Pada awal tahun 1820, seorang kimiawan Inggris bernama Michael Faraday menemukan bahwa larutan tertentu dapat mengalirkan arus listrik dan larutan tersebut dapat memecah menjadi molekul yang lebih kecil yang disebut elektrolisis. Selanjutnya Michael Faraday melakukan percobaan untuk meneliti hubungan antara besarnya arus yang mengalir dalam suatu elektrolisis dengan jumlah zat yang bereaksi. Untuk menggambarannya diambil elektrolisis larutan perak nitrat ($AgNO_3$) dan kemudian pada katoda terjadi reaksi seperti berikut³ :



Dari reaksi diatas maka dapat dikatakan bahwa diperlukan 1 mol elektron untuk menghasilkan 1 mol logam Ag. Jumlah listrik yang dialirkan

³ <http://perpustakaancyber.com/2013/07/bunyi-hukum-faraday-1-dan-2-tentang-elektrolisis.html>.
Diakses pada 22 Oktober 2015 jam 09.08

ke dalam sel elektrolisis untuk mendapatkan 1 mol elektron dinamakan 1 Faraday. Berdasarkan percobaan, Faraday menyimpulkan bahwa 1 mol elektron mengandung muatan listrik sebesar 96500 Coulomb (1 Faraday = 96500 Coulomb)⁴. Selain itu, hasil percobaan Faraday ini mengemukakan dua hukum yang penting, yaitu :

2.2.1 Hukum Faraday 1

Hukum Faraday 1 menyatakan bahwa massa zat yang dibebaskan pada suatu elektrolisis berbanding lurus dengan jumlah listrik yang mengalir.⁵

$$G \approx Q \quad (2.7)$$

Dan jumlah muatan listrik merupakan hasil kali kuat arus (I) dengan waktu (t).

$$Q = I * t \quad (2.8)$$

Seperti yang terjadi pada reaksi persamaan (2.7), untuk mengendapkan 1 mol Ag diperlukan 1 mol elektron atau jika ada sejumlah n molekul elektron untuk mengendapkan suatu zat, maka

$$G = n_{e^-} * F = n_{e^-} * 96500 \quad (2.9)$$

Jika persamaan (2.8) dan (2.9) disubsitusikan ke persamaan (2.7), maka didapatkan persamaan seperti berikut ini

⁴ *Ibid*

⁵ *Ibid*

$$n_{e^-} = \frac{I \cdot t}{96500} \quad (2.10)$$

Maka, untuk menghitung massa endapan atau massa zat L yang dibebaskan dengan nilai massa relatif (Mr) dapat ditentukan dengan



$$n \text{ mol } e^- \sim 1 \text{ mol } L \quad (2.12)$$

$$\frac{I \cdot t}{96500} \text{ mol } e^- \sim \frac{1}{n_{e^-}} * \frac{I \cdot t}{96500} \quad (2.13)$$

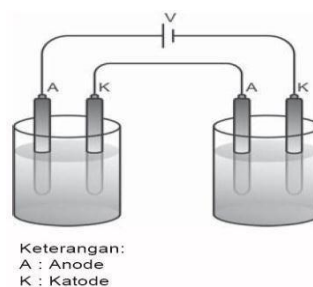
Jadi, untuk menghitung massa yang terendap dengan n mol zat L dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini

$$G = \text{mol} * Mr = Mr * \frac{n_L}{n_{e^-}} * \frac{I \cdot t}{96500} \quad (2.14)$$

2.2.2 Hukum Faraday 2

Hukum Faraday 2 menyatakan bahwa zat yang dibebaskan dalam elektrolisis berbanding lurus dengan massa ekuivalen. Jika sebuah sumber yang sama dialirkan dalam dua buah atau lebih sel elektrolisis yang berbeda (seperti pada gambar 2.a), maka perbandingan massa di satu *cell* dengan *cell* lainnya adalah sama. Artinya jumlah arus dan tegangan pada setiap *cell* juga sama.⁶

⁶ *Ibid*



Gambar 2.2 Rangkaian dua *cell* elektrolisis dengan sumber listrik yang sama

2.3 Katalis

Katalis merupakan suatu zat yang dapat mempercepat suatu laju reaksi, namun zat ini sendiri secara kimiawi tidak berubah pada akhir reaksi⁷. Katalis digunakan untuk mempercepat laju reaksi menghasilkan gas hidrogen dan oksigen. Selain itu, katalis juga bersifat elektrolit yaitu zat yang dapat menghantarkan listrik. Kemampuan larutan (dalam hal ini air + katalis) menghantarkan listrik disebut juga daya hantar listrik atau konduktivitas. Konsentrasi elektrolit ini sangat menentukan besarnya konduktivitas. Untuk larutan elektrolit, konduktivitas dapat dilihat dari konduktivitas molarnya (L). Konduktivitas molar adalah besarnya kemampuan larutan untuk menghantarkan listrik dan persamaannya adalah sebagai berikut⁸ :

$$L = K * V = K/C \quad (2.15)$$

Dimana L adalah konduktivitas molar, K adalah konduktivitas spesifik, V adalah volume larutan, dan C adalah konsentrasi larutan. Dilihat

⁷ http://www.chem-is-try.org/materi_kimia/kimia_fisika1/laju_reaksi1/efek_dari_katalis/. Diakses pada 22 November 2015 jam 09.08

⁸ Purwanto, Slamet Adik. 2012. *Larutan Elektrolit*. Makalah. Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Fak. Teknologi Industri, Teknik Kimia. Surabaya, Indonesia

dari kemampuan dalam menghantarkan arus listrik larutan, maka elektrolit dibagi menjadi dua, yaitu :

2.3.1 Elektrolit Kuat

Larutan elektrolit kuat adalah larutan yang dapat dengan mudah menghantarkan arus listrik. Ion – ion yang bebas bergerak sehingga elektron dapat dengan mudah berpindah dan mengakibatkan arus listrik yang dihantarkan lebih lancar. Senyawa yang termasuk elektrolit kuat adalah asam kuat (HCl, HNO_3, H_2SO_4 , dan lain – lain), basa kuat ($NaOH, KOH, Mg(OH)_2$, dan lain – lain), dan garam yang mempunyai kelarutan tinggi ($NaCl, KCl, KI$, dan lain – lain). Adapun sifat asam dan basa seperti berikut ini⁹ :

Tabel 2.1 sifat - sifat asam dan basa

Sifat Asam	Sifat Basa
Rasa asam	Rasa pahit
Dapat merubah kertas lakmus warna biru menjadi merah	Dapat merubah kertas lakmus warna merah menjadi biru
Bersifat korosif	Terasa licin apabila terkena kulit
Memiliki pH < 7	Memiliki pH > 7

⁹ Tim Abdi Guru. 2007. *IPA TERPADU* untuk SMP Kelas VII. Jakarta : Erlangga.

2.3.2 Elektrolit Lemah

Larutan elektrolit lemah yaitu larutan yang dapat menghantarkan listrik tetapi ion-ionnya tidak sepenuhnya bebas bergerak sehingga elektron tidak dapat dengan mudah berpindah dan mengakibatkan arus listrik yang dihantarkan lebih kecil. Senyawa yang termasuk dalam elektrolit lemah adalah asam lemah (CH_3COOH , HCN , H_2CO_3 , dan lain – lain), basa lemah (NH_4OH , dan lain – lain), dan garam yang sukar larut ($AgCl$, $CaCrO_4$, dan lain – lain).

2.4 Bahan Baku

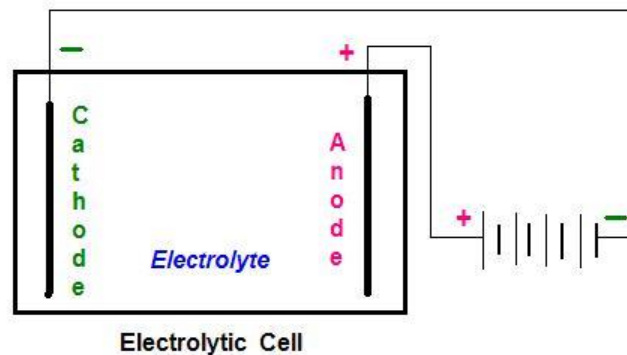
Bahan baku elektrolisis haruslah air murni atau air yang tidak mengandung unsur lain didalamnya seperti mineral, garam, dan sebagainya. Jika air tersebut mengandung unsur lain, maka hasil elektrolisis tidak hanya gas hidrogen dan oksigen tetapi juga gas lain atau padatan akibat senyawa air tidak murni (biasanya terjadi gumpalan berupa agar-agar, yang dapat menyumbat lubang-lubang pertukaran air). Misal air tersebut mengandung garam $NaCl$, maka akan timbul padatan di elektrodanya dan akan terdapat gas klorida juga, sehingga akan menghambat aliran listrik ke elektroda dan terdapatnya gas yang tidak diharapkan pada hasil elektrolisis. Air destilasi yang sudah banyak diperdagangkan adalah;

1. Air untuk penambahan Air Accu (Baterai), tutup botolnya dengan warna biru, jangan yang warna merah.
2. R.O = Reversed Osmosis (Jakarta),
3. TDS Nol = Total Dissolved Solid Nol (Bogor) dan
4. Amidis = Air Minum Distilasi (Bandung).

Jika ingin murah dan sangat baik dibandingkan air biasa, maka dapat menggunakan air isi ulang.

2.5 Generator HHO

Generator HHO merupakan perangkat atau sistem yang dapat menghasilkan gas hidrogen. Perangkat generator HHO terdiri dari tabung reaktor yang di dalamnya terdapat sepasang elektroda dan elektrolit. Sumber listrik yang digunakan pada generator HHO yaitu sumber listrik arus searah (DC) yang berasal dari baterai ataupun *accu*. Generator ini bekerja dengan prinsip elektrolisa air. Secara sederhana generator hho dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.3 Elektrolisis

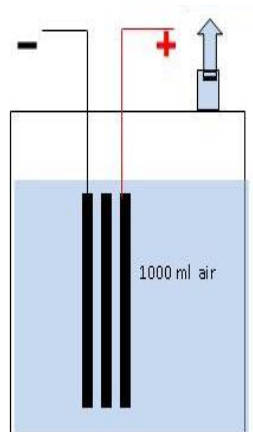
Pada generator HHO yang terdiri dari 2 elektroda yaitu katoda dan anoda yang terhubung dengan sumber tegangan arus searah akan terjadi proses elektrolisis apabila elektroda direndam dalam larutan elektrolit. Karena terdapat larutan elektrolit, maka arus dapat mengalir dan akan terjadi perubahan kimia pada elektroda. Pada katoda akan terjadi proses reduksi yang

menghasilkan gas hidrogen dan pada anoda akan terjadi proses oksidasi yang akan menghasilkan gas oksigen.

Metode elektrolisis yang digunakan sampai saat ini terdapat dua acara yaitu :

2.5.1 *Wet Cell*

Wet Cell adalah generator HHO, dimana elektrodanya terendam elektrolit di dalam sebuah bejana air. Sistemnya yaitu dengan menempatkan air pada suatu wadah dan menempatkan dua buah plat konduktor sebagai anoda dan katoda dalam air. Kemudian plat tersebut diberikan sumber arus sarah atau *direct current* (DC) (Kutub positif sebagai anoda dan kutub negatif sebagai katoda).

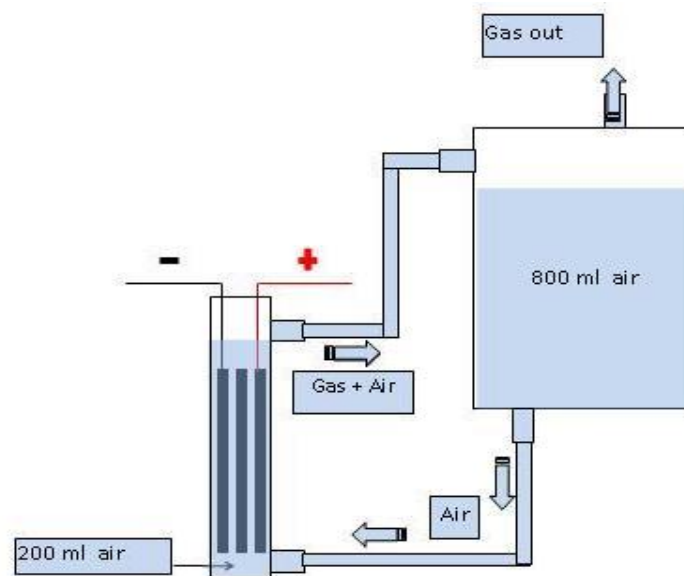


Gambar 2.4 Generator *HHO* Tipe *Wet Cell*

2.5.2 *Dry Cell*

Dry Cell adalah pembangkit gas hidrogen yang elektrodanya tidak terendam elektrolit. Sistemnya dengan membuat air (*water reservoir*) sebagai

bahan baku terpisah dengan tempat terjadinya elektrolisis air. *Water reservoir* dibuat sebagai penampungan air biasa dan tidak ada sistem rumit di dalamnya seperti pengontrolan dan sebagainya. Sedangkan tempat terjadinya elektrolisis terdiri dua buah plat konduktor yang diberi jarak dengan *seal*. Kemudian air dimasukan ke dalam tempat terjadinya elektrolisis tersebut dengan melubangi plat yang ada di dalam dan plat tersebut diberikan beda potensial.



Gambar 2.5 Genarator *HHO* Tipe *Dry Cell*

2.6 Elektroda

Elektroda adalah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian atau media non-logam. Elektroda dalam sel elektrolisa disebut sebagai anoda dan katoda. Anoda didefinisikan sebagai elektroda positif dimana elektron diambil atau diserap dari *cell* sehingga terjadi oksidasi.

Sedangkan katoda didefinisikan sebagai elektroda negatif dimana elektron dari sumber tegangan memasuki *cell* dan reduksi terjadi¹⁰.

Reduksi adalah proses terpisahnya suatu ikatan senyawa menjadi atom – atom karena perbedaan potensial elektrode antara suatu larutan dengan kation ketika adanya aliran listrik. Jika kation berasal dari logam dengan potensial elektrode (E) lebih kecil daripada air, maka air yang akan tereduksi menjadi gas hidrogen dan oksigen. Jika kation berasal dari logam dengan E lebih besar daripada air, maka logam tersebut yang akan tereduksi. Selain itu, elektroda harus memiliki ketahanan terhadap karat. Maka daripada itu, elektroda yang digunakan adalah konduktor dengan potensial elektrode lebih kecil daripada air ($E_{H_2O} = -0,83$).

2.7 *Flowmeter*

Flowmeter adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur aliran gas HHO. Pengukuran ini dilakukan agar dapat diukur aliran gas yang dihasilkan pada generator hho. Flow meter digunakan untuk mengetahui adanya suatu aliran material (*liquid, gas, powder*) dalam suatu aliran dengan segala aspek aliran itu sendiri yaitu kecepatan aliran atau *flow rate* dan total massa atau volume dari material yang mengalir dalam jangka waktu tertentu atau sering disebut totalizer. Dengan diketahuinya parameter dari aliran suatu material oleh alat ukur flowmeter yang dikirim berupa data angka dapat juga diteruskan guna

¹⁰ Tjatur W., Rusminto, dkk. *Proses Elektrolisa Pada Prototipe “Kompor Air” Dengan Pengaturan Arus dan Temperatur*. Surabaya, Indonesia.

menghasilkan aliran listrik atau sinyal yang bisa digunakan sebagai input pada kontrol atau rangkaian elektrik lainnya.¹¹

2.8 *Amperemeter*

Amperemeter adalah alat yang digunakan untuk mengukur kuat arus listrik. Umumnya alat ini dipakai oleh teknisi elektronik dalam alat multi tester listrik yang disebut avometer gabungan dari fungsi amperemeter, voltmeter dan ohmmeter.

Amper meter dapat dibuat atas susunan mikroamperemeter dan shunt yang berfungsi untuk deteksi arus pada rangkaian baik arus yang kecil, sedangkan untuk arus yang besar ditambahkan dengan hambatan shunt.

Amperemeter bekerja sesuai dengan gaya lorentz gaya magnetis. Arus yang mengalir pada kumparan yang selimuti medan magnet akan menimbulkan gaya lorentz yang dapat menggerakkan jarum amperemeter. Semakin besar arus yang mengalir maka semakin besar pula simpangannya.¹²

2.9 *Voltmeter*

Voltmeter adalah suatu alat yang berfungsi untuk mengukur tegangan listrik. Dengan ditambah alat multiplier akan dapat meningkatkan kemampuan pengukuran alat voltmeter berkali-kali lipat.

Gaya magnetik akan timbul dari interaksi antar medan magnet dan kuat arus. Gaya magnetic tersebut akan mampu membuat jarum alat pengukur

¹¹ <http://pengalamanriutami.com/2015/04/flow-meter.html>. Di akses pada tanggal 22 Oktober 2015 jam 07.30

¹² <http://www.organisasi.org/1970/01/fungsi-pengertian-amperemeter-voltmeter-ohmmeter-alat-ukur-listrik-ilmu-fisika.html>. Diakses pada tanggal 22 Oktober 2015 jam 07.15

voltmeter bergerak saat ada arus listrik. Semakin besar arus listrik yang mengalir maka semakin besar penyimpangan jarum yang terjadi.

2.10 Termometer

Termometer adalah alat untuk mengukur panas atau suhu. Pada umumnya, termometer terbuat dari tabung kaca yang diisi zat cair termometrik. Termometer berasal dari bahasa Latin *thermo*, yang artinya panas, dan meter, yang artinya untuk mengukur. Zat cair termometrik adalah zat cair yang mudah mengalami perubahan fisis jika dipanaskan atau didinginkan, misalnya air raksa dan alkohol. Termometer mempunyai banyak jenis, antara lain termometer klinis, termometer dinding, termometer bimetal, dan termometer maksimum-minimum. Termometer yang paling sering kita temui dalam kehidupan sehari-hari adalah termometer air raksa.¹³

2.11 Volume Gas Ideal

Avogadro mendapatkan hasil dari percobaannya bahwa pada suhu 0°C (273 K) dan tekanan 1 atmosfer (76cmHg) didapatkan tepat 1 liter oksigen dengan massa 1,3286 gram. Maka 1 mol oksigen sama dengan 22,4 liter, pengukuran dengan kondisi 0°C (273 K) dan tekanan 1 atmosfer (76cmHg) disebut juga keadaan STP(Standard Temperature and Pressure). Pada keadaan STP, 1 mol gas oksigen sama dengan 22, 3 liter. Avogadro yang menyatakan bahwa pada suhu dan tekanan yang sama, gas-gas yang bervolume sama mengandung jumlah molekul yang sama. Apabila jumlah molekul sama maka

¹³ <http://www.pengertianahli.com/2014/06/pengertian-termometer-jenis-termometer.html>. Diakses pada tanggal 22 Oktober 2015 jam 07.40

jumlah molnya akan sama. Sehingga, pada suhu dan tekanan yang sama, apabila jumlah mol gas sama maka volumenya pun akan sama. Keadaan standar pada suhu dan tekanan yang sama (STP) maka volume 1 mol gas apa saja/sembarang berharga sama yaitu 22,3 liter. Volume 1 mol gas disebut sebagai volume molar gas (STP) yaitu 22,3 liter/mol.

Volume Gas Tidak Standar (Persamaan gas ideal)

Persamaan gas ideal dinyatakan dengan : $PV = nRT$

keterangan:

P : tekanan gas (atm)

V : volume gas (liter)

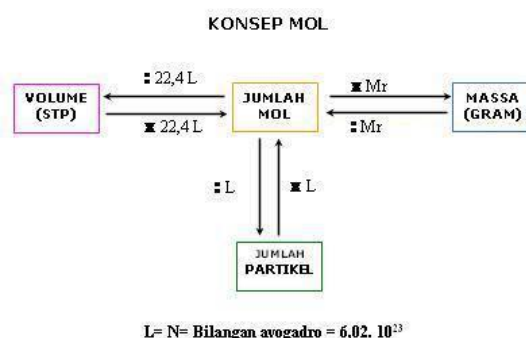
N : jumlah mol gas

R : tetapan gas ideal (0,082 liter atm/mol K)

T : temperatur mutlak (Kelvin)

Gas Pada Suhu dan Tekanan Sama

Avogadro melalui percobaannya menyatakan bahwa pada suhu dan tekanan yang sama, gas-gas yang bervolume sama mengandung jumlah molekul yang sama. Apabila jumlah molekulnya sama maka jumlah molnya sama. Jadi pada suhu dan tekanan yang sama perbandingan mol gas sama dengan perbandingan volume gas.



Gambar 2.6 Konsep mol

2.12 Bahan Bakar

Mobil bensin yang ada sekarang ini merupakan perkembangan dan hasil evolusi mesin yang semula. Mobil tersebut dilengkapi dengan busi dan karburator. Busi menghasilkan loncatan api listrik yang menyalakan campuran bahan bakar dan udara segar. Karburator adalah tempat pencampuran bahan bakar dengan udara. Pencampuran tersebut terjadi karena bahan bakar terhisap masuk atau disemprotkan kedalam arus udara segar yang masuk kedalam karburator. Campuran bahan bakar dan udara segar yang terjadi itu sangat mudah terbakar. Campuran tersebut kemudian masuk kedalam silinder yang dinyalakan oleh loncatan api listrik dari busi, menjelang akhir langkah kompresi. Pembakaran bahan bakar udara ini menyebabkan mesin menghasilkan daya. Untuk membangkitkan loncatan listrik antara kedua elektrode busi diperlukan perbedaan tegangan yang cukup besar. Besarnya tergantung beberapa faktor berikut :

1. Perbandingan campuran bahan bakar udara
2. Kepadatan campuran bahan bakar udara
3. Jarak antara kedua elektrode serta bentuk electrode
4. Jumlah molekul campuran yang terdapat diantara kedua elektrode
5. Temperatur campuran dan kondisi operasi yang lain
6. Perbandingan campuran bahan bakar udara berkisar antara 0,0006 0,12.

Untuk menyalakan campuran bahan bakar udara yang sedikit diperlukan perbedaan tegangan yang relatif lebih besar daripada campuran 4 5 yang banyak. Pada umumnya disediakan tegangan yang lebih besar untuk

menjamin agar selalu terjadi loncatan api listrik didalam keadaan, misalnya antara 10.000-20.000 volt. Hal ini mengingat juga akan kondisi operasi yang dapat berubah sebagai akibat keausan mesin yang tidak dapat dihindari. Makin padat campuran bahan bakar udara makin tinggi tegangan yang dihasilkan.

2.13 Hipotesis

Hipotesis pada penelitian ini adalah karakteristik tipe generator HHO yang *wet cell* lebih banyak menghasilkan gas *hydrogen* lebih banyak dibandingkan dengan tipe generator yang *dry cell*, dan di dalam perawatannya tipe generator yang *wet cell* lebih mudah dan lebih efisien di dalam penggunaan air katalisnya.