

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian – penelitian sebelumnya mengenai penggunaan elektroliser untuk menghasilkan gas Hidrogen telah banyak dilakukan. Semua hal yang berkaitan dengan penelitian ini didasari oleh beberapa penelitian sebelumnya yang sudah dilakukan. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Jumiati (2013) mengamati pengaruh konsentrasi larutan katalis CaCl (kalsium klorida) dan bentuk elektroda terhadap produksi *gas*. Variabel bebas yang digunakan peneliti dalam penelitiannya yaitu elektroda berbentuk spiral, lempeng dan pipa silinder dengan variasi katalis masing – masing 0,014 M, 0,023 M, 0,027 M, 0,032 M. Adapun variabel kontrolnya yaitu voltase atau tegangan listrik yang digunakan 9 Volt dan luas permukaan elektroda yang sama. Pengambilan data dilakukan tiap 5 menit selama 40 menit. Hasil dari penelitian ini membuktikan bahwa bentuk elektroda pipa silinder paling besar menghasilkan gas karena jarak antar elektrodanya ( katoda dan anoda ) paling dekat.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Putra (2010), mengamati pengaruh variasi larutan KOH dan arus listrik terhadap produktivitas gas Hidrogen. Variabel bebas yang digunakan peneliti dalam penelitiannya yaitu variasi larutan KOH sebesar 5,33%, 4,57%, 4%, 3,55%, 3,2% dengan variasi arus listrik masing – masing larutan 4,4.5,5,5.5,6 A. Pengambilan data pada penelitian tersebut pada gelas ukur dari titik 0 sampai 30 cm. Hasil dari penelitian tersebut membuktikan bahwa semakin banyak zat atau senyawa yang dilarutkan ke dalam air maka akan semakin pekat larutan tersebut. Semakin pekat larutan KOH maka akan membuat besarnya hambatan listrik pada larutan akan semakin kecil dan akan mendekati nol. Besarnya hambatan yang semakin mendekati nol akan mengakibatkan arus listrik semakin besar dan produktivitas gas Hidrogen semakin besar pula. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Saputra, Husin, dan Basori(2013), mengamati variasi larutan terhadap konsumsi bahan bakar sepeda motor Yamaha Mio. Variabel bebas pada penelitian tersebut adalah variasi larutan yaitu larutan NaHCO<sub>3</sub>, KOH, NaOH, serta tanpa larutan. Sedangkan variabel terkontrolnya adalah konsentrasi tiap larutan dibuat sama. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penurunan konsumsi bahan bakar premium paling besar pada penggunaan elektroliser dengan larutan NaOH sebesar 1,27 ml/menit, hal ini

disebabkan larutan NaOH mempunyai PH lebih tinggi dari NaHCO<sub>3</sub> dan KOH. Selain itu NaOH merupakan salah satu jenis alkalin (basa kuat) yang mudah larut dalam air dan akan melepaskan panas (penambahan temperatur) sehingga mempercepat proses terbentuknya gas dalam tabung elektroliser.

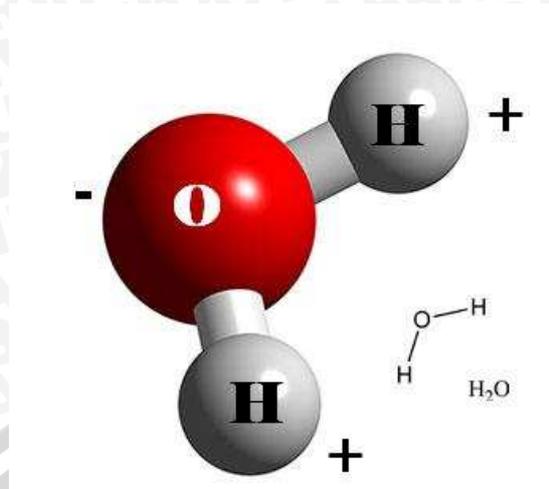
Lalu penelitian yang pernah dilakukan oleh Andewi dan Wahyono (2011), dengan memvariasikan tegangan sebesar 2,1V, 6V, 12V dan kadar salinitas 0,5‰; 15‰; 35‰. Hasil dari penelitian ini yaitu semakin besar kadar salinitas yang digunakan maka produksi gas Hidrogen semakin banyak. Hal ini juga terjadi dengan tegangan, semakin besar tegangan yang diberikan, maka semakin banyak produksi gas Hidrogen yang dihasilkan. Produksi optimum gas Hidrogen yang dihasilkan pada penelitian tersebut adalah sebesar 98mL didapatkan pada salinitas 35‰ dan tegangan 12V.

Pada jurnal Nagai, Takeuchi, Kimura, dan Oka(2003) yang menguji jarak optimum antara elektroda dengan melihat kekosongan retakan pada elektrolit yang ditimbulkan dari gelembung gas. Hasil yang diperoleh yaitu semakin dekat jarak antar elektroda, maka tegangan yang dibutuhkan dalam rapat arus yang sama semakin kecil namun kekurangannya adalah semakin cepat (banyak) terbentuk lubang retakan akibat gelembung gas yang menyebabkan efisiensi elektrolisis menurun juga. Hal ini terjadi akibat jarak elektroda yang terlalu dekat dan rapat arus yang besar.

Sedangkan penelitian yang dilakukan terhadap material elektroda yaitu penelitian Mansouri, Ibrik, Bensalah, dan Abdel-Wahab (2012) melakukan percobaan elektrolisis dengan variasi material elektroda Ni, Pt, Ir, dan Rh (dengan tingkat kemurnian material 99,99%). Berdasarkan eksperimen tersebut, diperoleh hasil bahwa elektroda nikel merupakan elektroda terbaik apabila dibandingkan dengan material yang lainnya. Selain itu, Menurut Suyuty (2011) *stainless steel* direkomendasikan sebagai material elektroda pada elektrolisis karena kandungan Cr yang besar sehingga dapat meminimalisir terjadinya proses korosi (pengkaratan logam).

## 2.2 Air

Air adalah substansi kimia dengan rumus kimia H<sub>2</sub>O, dimana hal ini berarti satu molekul air tersusun atas dua atom Hidrogen yang terikat secara kovalen pada satu atom Oksigen. Pada gambar dibawah ini akan lebih memperjelas mengenai bentuk struktur molekul air:



Gambar 2.1 Struktur Molekul Air  
Sumber: Brady (1999: 124)

Air bersifat tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau pada kondisi standar, yaitu pada tekanan 100 kPa (1 bar) dan temperatur 273,15 K (0°C). Air merupakan suatu pelarut yang penting, yang memiliki kemampuan untuk melarutkan banyak zat kimia lainnya, seperti garam-garam, gula, asam, beberapa jenis gas dan banyak macam molekul organik. Untuk makhluk hidup air adalah bagian yang sangat penting karena air berperan dalam proses metabolisme. Air juga dibutuhkan dalam proses fotosintesis pada tumbuhan dan respirasi pada hewan serta manusia.

Air merupakan salah satu sumber hayati yang jumlahnya sangat melimpah di permukaan bumi ini. Menurut hasil pemetaan air di permukaan bumi yang dipublikasikan oleh *Central Intelligence Agency* (2008), air menutupi hampir 71% permukaan Bumi. Jumlah ini pada dasarnya merupakan sebuah potensi besar yang dapat dimanfaatkan, namun faktanya hingga saat ini hanya sekitar 23% yang sudah dimanfaatkan, dan diantara jumlah tersebut hanya sekitar 20% yang dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan air guna rumah tangga, kota dan industri, sedangkan 80% sisanya dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan irigasi (Hartoyo, 2010).

Air juga diyakini tidak akan pernah punah atau habis jumlahnya di permukaan bumi ini sehingga air dapat disebut sebagai sumber daya terbarukan. Hal ini dikarenakan air akan selalu mengalami siklus perputaran (siklus hidrologi) mulai dari menjadi uap karena panas matahari, kemudian mengumpul serta mengalami kondensasi dan terjadilah hujan. Sebagian air hujan akan kembali diserap oleh tanah menjadi sumber – sumber mata air, sedangkan sisanya akan mengisi sungai – sungai dan lautan.

### 2.3 Hidrogen dan Oksigen

Proses elektrolisis air ini akan menghasilkan 2 gas yaitu berupa gas Hidrogen ( $H_2$ ) dan oksigen ( $O_2$ ). Hidrogen dan Oksigen merupakan unsur gas yang apabila digunakan untuk proses pembakaran akan menghasilkan ledakan dengan panas yang tinggi. Hidrogen (bahasa Latin: *hidrogenium*, dari bahasa Yunani: *hydro*: air, *genes*: membentuk) adalah suatu unsur kimia yang memiliki nomor atom 1 dan massa atom 1,00797 yang diberi lambang H. Hidrogen merupakan unsur kimia paling ringan dan melimpah dengan persentase kira-kira 75% dari total massa unsur alam semesta apabila dibandingkan dengan unsur-unsur kimia lainnya (David, 1997).

Dalam banyak hal, Hidrogen merupakan bahan bakar yang sempurna. Hidrogen mampu menghasilkan pembakaran yang bersih dan efisien. Hidrogen dapat menghasilkan listrik, dan listrik dapat menghasilkan Hidrogen, menciptakan lingkaran energi yang terbarukan dan aman bagi lingkungan. Secara kimiawi, Hidrogen berpadu dengan hampir semua unsur, sehingga dapat digunakan sebagai zat kimia industri di beragam aplikasi selama bertahun-tahun. Pada kendaraan, Hidrogen dapat digunakan sebagai bahan bakar dengan dua cara: menghasilkan listrik dalam sel bahan bakar; atau berperan sebagai bahan bakar *hybrid* dalam mesin pembakaran internal sehingga emisi kendaraan jauh berkurang apabila dibandingkan dengan kendaraan yang menggunakan bahan bakar hidrokarbon (Indra, 2010).

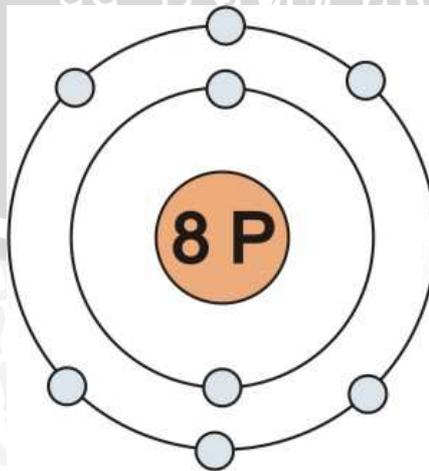
Pada suhu dan tekanan standar, gas Hidrogen memiliki sifat – sifat yaitu tidak berwarna, tidak berbau, bersifat non - logam, bervalensi tunggal, dan merupakan gas diatomik yang sangat mudah terbakar. Oleh karena itu, sangatlah sulit mendeteksi secara visual suatu kasus kebocoran gas Hidrogen. Sifat– sifat fisis gas Hidrogen ditunjukkan pada tabel 2.1 di bawah ini:

Tabel 2.1 Sifat fisis gas Hidrogen

Physical properties	
Color	colorless
Phase	gas
Density	(0 °C, 101.325 kPa) 0.08988 g/L
Liquid density at m.p.	0.07 (0.0763 solid) <sup>[2]</sup> g·cm <sup>-3</sup>
Liquid density at b.p.	0.07099 g·cm <sup>-3</sup>
Melting point	14.01 K, -259.14 °C, -434.45 °F
Boiling point	20.28 K, -252.87 °C, -423.17 °F
Triple point	13.8033 K (-259°C), 7.042 kPa
Critical point	32.97 K, 1.293 MPa
Heat of fusion	(H <sub>2</sub> ) 0.117 kJ·mol <sup>-1</sup>
Heat of vaporization	(H <sub>2</sub> ) 0.904 kJ·mol <sup>-1</sup>
Molar heat capacity	(H <sub>2</sub> ) 28.836 J·mol <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>

Sumber: Rahman (2012)

Sedangkan Oksigen adalah gas yang tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa. Oksigen di bumi mengisi 20% dari udara yang kita hirup (dan setidaknya setengah dari berat seluruh kerak bumi yang padat). Oksigen biasanya bergabung dengan sebagian besar unsur-unsur lain untuk membentuk oksida. Oksigen sangat penting untuk manusia, hewan dan tumbuhan.



Gambar 2.2 Model atom oksigen  
Sumber: Brady (1999: 243)

Pada gambar 2.2 memperlihatkan model struktur atom dari gas Oksigen. Oksigen merupakan suatu unsur kimia dalam sistem tabel periodik yang mempunyai lambang O, nomor atom 8 dan isotop Oksigen 16. Atom Oksigen pada umumnya memiliki 8 proton dan 8 neutron yang terletak pada bagian inti atom (*nucleus*). Oksigen juga memiliki 8 elektron yang tersebar mengelilingi *nucleus* serta terbagi menjadi 2 lapisan. Pada lapisan pertama atau yang dekat dengan *nucleus* terdapat 2 buah elektron yang mengelilingi, elektron ini sudah stabil. Pada lapisan atom kedua terdapat 6 buah elektron yang juga mengelilingi inti atom, dengan 4 elektron berpasangan menjadi 2 pasang dan 2 elektron tunggal yang reaktif. Karena kereaktifan dari elektron tersebut, maka membuat atom yang lain tertarik dan membuat ikatan agar stabil.

Oksigen memiliki peranan yang sangat besar dalam proses pembakaran. Tanpa adanya Oksigen proses pembakaran tidak akan terjadi. Sedangkan Oksigen cair dapat dihasilkan dari pengembunan udara dengan menggunakan Nitrogen cair sebagai cairan pendingin. Oksigen merupakan zat yang sangat reaktif dan harus dijauhkandari bahan-bahan yang mudah terbakar. Untuk proses pembakaran unsur Hidrogen dan Oksigen akan menghasilkan panas sebagai hasil reaksi dari pembakaran antara unsur Hidrogen dan Oksigen. Jika digunakan sebagai campuran bahan bakar akan menghasilkan bahan bakar yang ramah lingkungan. Campuran stoikiometri murni dapat diperoleh dari elektrolisis air, yang menggunakan arus listrik untuk memecahkan molekul air yaitu:

Reaksi elektrolisis : energi listrik +  $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$

Reaksi pembakaran :  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{energi kalor}$

Berdasarkan fakta – fakta diatas dapat disimpulkan bahwa gas Hidrogen dan gas Oksigen penggunaannya aman dan ramah bagi lingkungan sehingga perlu dilakukan pengoptimalan produksi dari hasil proses elektrolisis air ini yaitu berupa gas Hidrogen dan gas Oksigen.

#### 2.4 Metode Produksi Hidrogen

Seperti yang telah diketahui bahwa gas Hidrogen merupakan molekul yang tidak dapat berdiri sendiri secara alami di bumi, sehingga untuk memperolehnya, Hidrogen tidak dapat ditambang seperti batu bara, minyak atau sumber energi lainnya, melainkan membutuhkan suatu proses produksi yang baik dan secara kimia, maupun secara thermo. Di bawah ini akan dijelaskan mengenai beberapa macam produksi gas Hidrogen:

### 1. Termokimia

Salah satu cara produksi gas Hidrogen yaitu dengan cara menguraikan air secara langsung dengan menggunakan panas pada suhu 4000K. Pada proses produksi ini membutuhkan suhu yang sangat tinggi sehingga membutuhkan energi yang cukup besar untuk membangkitkannya. Suhu yang digunakan untuk mengurai air dengan panas dapat diminimalisir dengan proses elektrokimia, yaitu proses penguraian air dengan panas menggunakan bantuan zat kimia. Dari banyak jenis proses termokimia untuk memproduksi Hidrogen, proses iodine - sulfur merupakan suatu proses yang menjanjikan karena hanya memerlukan suhu sekitar 130<sup>0</sup>C (Kassahar,dkk.,2006).

### 2. Steam reforming

Metode ini dilakukan melalui reaksi uap dengan suhu sekitar 200<sup>0</sup>C dengan zat yang mengandung unsur hidrokarbon misalnya, gas Metan, alkohol, biomassa dengan bantuan katalisator menjadi H<sub>2</sub> dan CO. Selanjutnya reaksi tersebut diteruskan dengan *shift reaction* yang bersifat eksotermis yaitu gas CO yang dihasilkan dari reaksi sebelumnya direaksikan kembali dengan uap air sehingga membentuk CO dan H<sub>2</sub>, (Riberio, 2008)

### 3. Gasifikasi Biomasa

Gasifikasi biomasa adalah pemanasan biomasa atau bahan alam seperti jerami, limbah padat rumah tangga atau kotoran pada suhu tinggi dalam sebuah reaktor. Proses pemanasan ini mengakibatkan ikatan molekul dalam senyawayang ada menjadi terpecah dan menghasilkan campuran gas yang terdiri dari Hidrogen, karbon monoksida dan metana. Selanjutnya dengan cara yang sama seperti pada steam reforming, metana yang dihasilkan diubah menjadi gas Hidrogen.

Gasifikasi biomasa atau bahan organik memiliki beberapa keunggulan, antara lain menghasilkan lebih sedikit karbon dioksida, sumber bahan baku yang berlimpah dan terbarukan, bisa diproduksi di hampir seluruh tempat di dunia serta biaya produksi yang lebih murah (Lukman. 2009).

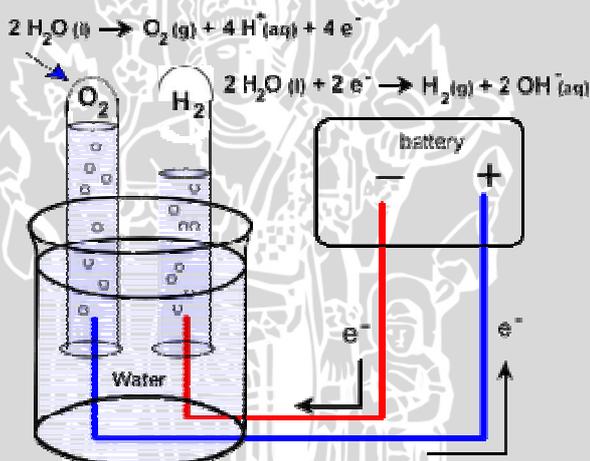
### 4. Elektrolisis Air

Elektrolisis air merupakan suatu metode pelepasan atom Hidrogen dengan atom Oksigen dari zat dasarnya yaitu air (H<sub>2</sub>O) menggunakan bantuan energi listrik

DC. Gas Hidrogen muncul di kutub negatif atau katoda sedangkan gas Oksigen berkumpul di kutub positif atau anoda.

## 2.5 Elektrolisis Air

Elektrolisis adalah suatu proses konversi energi secara kimia dengan merubah energi listrik menjadi energi kimia. Sedangkan elektrolisis air sendiri adalah suatu konversi energi listrik menjadi energi reaksi kimia yang dilakukan dengan cara mengalirkan arus listrik searah ke dalam air atau larutan elektrolit (campuran air dengan katalis). Proses elektrolisis tersebut bertujuan untuk melepaskan ikatan atom Hidrogen dengan atom Oksigen yang merupakan struktur kimia air, sehingga akan didapatkan gas Oksigen dan gas Hidrogen hasil dari reaksi ini. Metode elektrolisis pertama kali ditemukan oleh Faraday pada tahun 1820.



Gambar 2.3 Elektrolisis air  
Sumber : Burhani (2011 :36)

Dari gambar 2.3 didapatkan suatu penjelasan bahwa untuk melakukan elektrolisis dibutuhkan sumber energi arus listrik searah (DC) yang bersumber dari *accumulator* atau *power supply* yang dialirkan ke dalam elektroliser. Elektroliser adalah tempat atau wadah tempat terjadinya proses elektrolisis air dimana didalamnya terdapat elektroda (anoda dan katoda) serta larutan elektrolit. Oleh karena antar kutub *power supply* (sumber listrik) ini memiliki beda tegangan, maka elektron akan mengalir dari kutub negatif menuju anoda yang terendam dalam elektrolit. Setelah melewati elektrolit yang akan direaksikan, elektron sampai pada katoda dan diteruskan

ke kutub positif dari *power supply*. Elektrolit yang digunakan harus memiliki sifat ionik sehingga dapat menghantarkan listrik. Elektrolisis air terjadi karena elektrolit mengandung ion – ion yang dapat bergerak bebas, sehingga pada saat dialiri oleh arus listrik, senyawa air yang terdapat pada elektrolit tersebut bereaksi. Proses yang terjadi pada katoda, dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron yang mengalir masuk ke dalam katoda lalu tereduksi menjadi gas  $H_2$  serta ion hidroksida ( $OH^-$ ). Ion  $OH^-$  hasil reaksi air pada katoda bergerak menuju anoda. Di anoda tersebut elektron terlepas menuju permukaan anoda dan bergerak kembali menuju *power supply* akibat terlepasnya elektron tersebut. Dua buah ion  $OH^-$  terurai membentuk air dan gelembung Oksigen. Gas  $H_2$  yang timbul dalam katoda dan gas  $O_2$  yang timbul pada anoda hasil dari reaksi elektrolisis tersebut muncul dalam bentuk gelembung - gelembung gas kecil pada permukaan masing – masing elektroda.

## 2.6 Larutan Elektrolit

Larutan adalah campuran beberapa senyawa atau zat yang bersifat homogen. Zat yang memiliki konsentrasi terbesar disebut dengan pelarut sedangkan zat yang memiliki konsentrasi lebih kecil disebut dengan zat terlarut. Elektrolit adalah suatu zat terlarut atau terurai dalam bentuk ion – ion dan selanjutnya larutan menjadi konduktor elektrik. Sedangkan larutan elektrolit adalah larutan yang dibentuk oleh zat elektrolit. Elektrolit biasanya berbentuk asam, basa atau garam. Beberapa gas tertentu dapat berfungsi sebagai elektrolit pada kondisi tertentu misalnya pada suhu tinggi atau tekanan rendah. Zat yang ion – ionnya terurai sempurna dinamakan elektrolit kuat, sedangkan zat yang ion – ionnya terurai sebagian dinamakan elektrolit lemah.

Umumnya air merupakan salah satu contoh zat pelarut yang baik untuk senyawa ion dan dapat menghantarkan arus listrik. Pada saat elektroda dicelupkan ke dalam air murni, bola lampu tidak akan menyala karena air murni merupakan konduktor listrik yang sangat jelek. Namun apabila suatu senyawa ion yang larut seperti  $NaCl$  ditambahkan di dalam air, maka  $NaCl$  akan larut sehingga bola lampu akan menyala dengan terang. Hal ini disebabkan  $NaCl$  merupakan elektrolit yang membuat larutan menjadi konduktor listrik (Brady,1999).

Menurut Arrhenius, larutan elektrolit dalam air terurai ke dalam partikel - partikel bermuatan listrik positif dan negatif yang disebut ion (ion positif dan ion negatif) Jumlah muatan ion positif (Kation) akan sama dengan jumlah muatan ion

negatif (Anion), sehingga muatan ion - ion dalam larutan netral. Ion –ion inilah yang bertugas menghantarkan arus listrik. Lalu Michael Faraday menemukan bahwa jika arus listrik dialirkan ke dalam larutan elektrolit maka akan terjadi suatu fenomena yang dinamakan elektrolisis yang mampu menghasilkan gas.

Pada penelitian ini peneliti menggunakan air sebagai pelarutnya dan katalis berupa Natrium Hidroksida ( $\text{NaHCO}_3$ ) sebagai zat terlarutnya untuk menghasilkan elektrolit kuat agar dapat dialiri listrik secara baik dan mempercepat reaksi elektrolisis air.

### 2.7 Natrium Bikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ )

Natrium Bikarbonat adalah senyawa kimia dengan rumus  $\text{NaHCO}_3$ . Dalam penyebutannya biasa disingkat menjadi *bicnat*. Senyawa ini termasuk dalam kelompok garam dan telah lama digunakan sejak lama sejak dahulu kala. Senyawa ini disebut juga *baking soda* (soda kue) atau Sodium Bikarbonat, Natrium Hidrogen Karbonat, dan lain – lain. Senyawa ini merupakan kristal yang sering terdapat dalam bentuk serbuk. Natrium Bikarbonat merupakan zat yang dapat larut dalam air. Senyawa ini digunakan dalam roti atau kue karena bereaksi dengan bahan lain membentuk gas karbon dioksida, yang menyebabkan roti “mengembang”.

Senyawa ini juga digunakan sebagai obat antasid (penyakit *maag* atau tukak lambung). Karena bersifat alkaloid (basa), senyawa ini juga dapat digunakan sebagai obat penetral asam bagi penderita asidosis tubulus renalis (ATR) atau rhenal tubular acidosis (RTA). Selain itu Natrium Bikarbonat juga dapat digunakan untuk menurunkan kadar asam urat.  $\text{NaHCO}_3$  diproduksi dari reaksi natrium klorida, amonia, dan karbon dioksida dalam air.  $\text{NaHCO}_3$  saat ini di dunia diproduksi sebanyak 100.000 ton/tahun (2001). Soda kue juga diproduksi secara komersial dari soda abu (diperoleh melalui penambangan biji trona, yang dilarutkan dalam air lalu direaksikan dengan karbon dioksida). Lalu  $\text{NaHCO}_3$  mengendap sesuai persamaan berikut;



Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Saputra, Husin, dan Basori(2013), mengamati variasi larutan  $\text{NaHCO}_3$ , KOH, NaOH, serta tanpa larutan terhadap konsumsi bahan bakar sepeda motor Yamaha Mio, maka hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penurunan konsumsi bahan bakar premium paling besar pada penggunaan elektroliser dengan larutan NaOH. Hal ini disebabkan larutan NaOH mempunyai PH

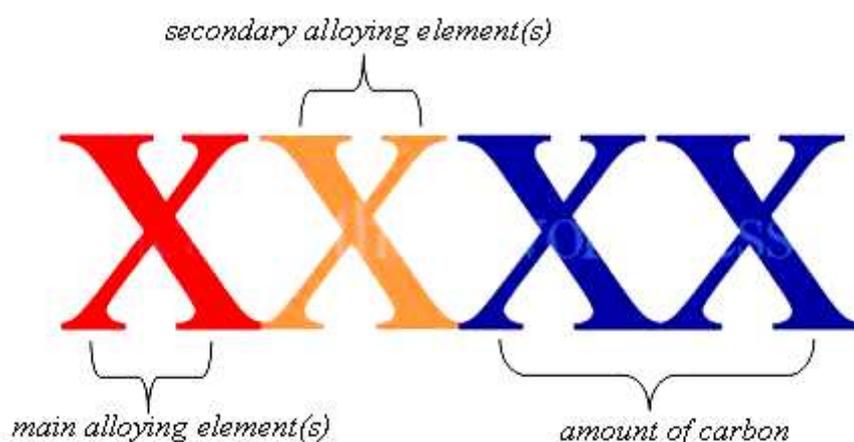
lebih tinggi dari  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{KOH}$ . Selain itu  $\text{NaOH}$  merupakan salah satu jenis alkalin (basa kuat) yang mudah larut dalam air dan akan melepaskan panas (penambahan temperatur) sehingga mempercepat proses terbentuknya gas dalam tabung elektroliser.

## 2.8 Stainless Steel

Baja tahan karat atau lebih dikenal dengan *Stainless Steel* adalah senyawa besi yang mengandung sekitar 10,5% Kromium yang berfungsi mencegah proses pengkaratan logam. Kemampuan tahan karat diperoleh dari terbentuknya lapisan film oksida Kromium, dimana lapisan oksida ini menghalangi proses oksidasi besi sehingga membuat baja ini tahan terhadap karat. *Stainless steel* dibagi dalam beberapa kelompok utama sesuai jenis dan persentase material sebagai bahan pembuatannya. Namun dalam penelitian ini, jenis *stainless steel* yang dipakai adalah stainless steel AISI Tipe 304. Adapun *stainless steel* tipe ini dibuat dengan bahan dan pertimbangan ekonomis, sangat baik untuk lingkungan tercemar dan di air tawar namun tidak di anjurkan pemakaiannya yang berhubungan langsung dengan air laut.

Berdasarkan penomoran AISI (*The American Iron & Steel Institute*) *stainless steel* tipe 304 memiliki kandungan karbon sebesar 0,40 % serta campuran nikel-kromium sesuai penomorannya yang mengikuti standar pengartian penomoran berikut :

Sistem penomoran AISI:



Gambar 2.4. Digit penomoran AISI.

Sumber : AISI (2015)

Dua digit pertama menggambarkan tipe material, yaitu elemen utama pada digit pertama dan *secondary element* pada digit kedua. Dua digit terakhir adalah kandungan element karbon yang dinyatakan dalam seperseratus persen. Contohnya yaitu AISI 1060, artinya 1 untuk baja karbon (*carbon steel*), 0 untuk menunjukkan *plain* (tidak ditambahkan sulfur dan fospor). Dua digit terakhir yaitu 60 adalah kandungan karbon sebesar 0,60 %.

Tabel 2.2 Penomoran AISI dan artinya

AISI	Tipe
1XXX	<i>Carbon steels</i>
2XXX	<i>Nickel steels</i>
3XXX	<i>Nickel-chromium steels</i>
4XXX	<i>Molybdenum steels</i>
5XXX	<i>Chromium steels</i>
6XXX	<i>Chromium-vanadium steels</i>
7XXX	<i>Tungsten steels</i>
8XXX	<i>Nickel-chromium-vanadium steels</i>
9XXX	<i>Silicon-manganese steels</i>

Sumber : AISI (2015)

Untuk baja karbon, digit kedua adalah:

10XX → 0 menunjukkan *plain carbon*.

11XX → 1 menunjukkan *resulfurized* (ditambahkan sulfur).

12XX → 2 menunjukkan *resulfurized* dan *rephosphorized* (ditambahkan sulfur dan phosphor).

## 2.9 Arus dan Tegangan Listrik

Materi atau zat tersusun atas partikel – partikel yang sangat kecil yang kasat mata dan disebut dengan atom. Atom sendiri terdiri atas partikel sub – atom yang tersusun atas elektron, proton dan neutron dalam berbagai gabungan. Elektron merupakan partikel sub – atom yang bermuatan negatif (-) dan merupakan muatan listrik yang paling mendasar. Elektron – elektron dalam cangkang terluar atom disebut elektron valensi. Apabila energi eksternal seperti kalor, cahaya, atau listrik diberi pada sebuah materi maka elektron – elektron valensi akan mendapat energi dan akan berpindah ke tingkat energi yang lebih tinggi. Jika elektron mendapat energi yang cukup maka elektron valensi tersebut akan keluar dari atomnya dan statusnya menjadi elektron bebas. Pergerakan dari elektron - elektron bebas akan membawa muatan - muatan listrik dan hal inilah yang menjadi arus listrik dalam konduktor logam.

Arus listrik adalah banyaknya muatan listrik yang terjadi dari pergerakan elektron – elektron yang mengalir melalui suatu titik menuju titik yang lain dalam sirkuit listrik tiap satuan waktu. Arus listrik dapat diukur dalam satuan Coulomb/detik (C/det) atau Ampere (A) seperti yang dijelaskan pada persamaan 2-1 (Bird,2010).

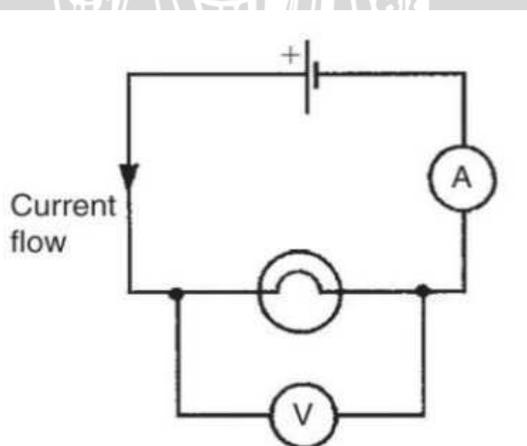
$$I = \frac{Q}{t} \quad (2-1)$$

Keterangan :

$I$  = Arus listrik [A]

$Q$  = Banyaknya muatan listrik [C]

$t$  = Waktu [s]



Gambar 2.5 Arah aliran arus pada rangkaian listrik DC  
Sumber: Bird (2010)

Arus listrik dibangkitkan oleh dua kutub sumber listrik yang mempunyai beda potensial. Satuan dasar beda potensial *volt* (V), karena satuan inilah beda potensial V sering disebut *voltage* (Bird, 2010).

Tegangan listrik (Voltage) adalah perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik, dan dinyatakan dalam satuan volt. Besaran ini mengukur energi potensial dari sebuah medan listrik yang mengakibatkan adanya aliran listrik dalam sebuah konduktor listrik. Tergantung pada perbedaan potensial listriknya, suatu tegangan listrik dapat dikatakan sebagai ekstra rendah, rendah, tinggi atau ekstra tinggi. Secara definisi tegangan listrik menyebabkan obyek bermuatan listrik negatif tertarik dari tempat bertegangan rendah menuju tempat bertegangan lebih tinggi. Sehingga arah arus listrik konvensional di dalam suatu konduktor mengalir dari tegangan tinggi menuju tegangan rendah.

Berdasarkan perubahan *voltage* terhadap waktu, maka arus listrik dibedakan menjadi dua tipe yaitu arus Direct Current (DC, Arus Searah) dan Alternating Current (AC, Arus Bolak - balik).

#### 1. Arus listrik AC

Arus listrik AC (*alternating current*), merupakan listrik yang besar dan arah arusnya selalu berubah-ubah dan bolak-balik. Arus listrik AC akan membentuk suatu gelombang yang dinamakan dengan gelombang sinus atau lebih lengkapnya sinusoida. Di Indonesia sendiri, listrik bolak-balik (AC) dipelihara dan berada dibawah naungan PLN, Indonesia menerapkan listrik bolak-balik dengan frekuensi 50Hz. Tegangan standar yang diterapkan di Indonesia untuk listrik bolak-balik 1 (satu) fasa adalah 220 volt.

#### 2. Arus listrik DC

Arus listrik DC (Direct current) merupakan arus listrik searah. Pada awalnya aliran arus pada listrik DC dikatakan mengalir dari ujung positif menuju ujung negatif. Semakin kesini pengamatan-pengamatan yang dilakukan oleh para ahli menunjukkan bahwa pada arus searah merupakan arus yang alirannya dari negatif (elektron) menuju kutub positif. Nah aliran-aliran ini menyebabkan timbulnya lubang-lubang bermuatan positif yang terlihat mengalir dari positif ke negatif.

### 2.9.1 Hukum Ohm dan Daya dalam Rangkaian Listrik DC

Hukum Ohm mendefinisikan hubungan antara arus ( $I$ ), tegangan ( $V$ ), dan Resistensi ( $R$ ). Cara untuk menyatakan hukum Ohm dalam persamaan matematis dinyatakan pada persamaan 2-2.

$$V = I.R \quad (\text{Bird, 2010})(2-2)$$

Keterangan:

$V$  = Tegangan listrik [V]

$I$  = Arus listrik [A]

$R$  = Resistensi [Ohm]

Daya listrik yang digunakan dalam sembarang bagian dalam rangkaian DC sama dengan perkalian antara arus yang mengalir dengan voltase rangkaian. Secara matematis dinyatakan dengan persamaan (2-3).

$$P = V.I \quad (\text{Bird, 2010})(2-3)$$

Keterangan:

$P$  = Daya listrik [Watt]

$I$  = Arus listrik [A]

$V$  = Tegangan listrik [V]

### 2.10 Proses Produksi Gas Hidrogen

Gas Hidrogen yang terbentuk dari proses elektrolisis nantinya diukur dengan menggunakan gelas ukur yang mempunyai skala. Untuk mengetahui volume alir gas Hidrogen dihitung dengan persamaan (2-4) berikut.

$$q = \frac{v}{t} \quad (2-4)$$

Dimana :

$q$  = Debit[ml/s].

$v$  = Volume gas Hidrogen yang ditampung dalam gelas ukur [ml].

$t$  = Waktu yang diperlukan untuk menghasilkan gas Hidrogen [s].

Setelah mengetahui produktivitas gas Hidrogen serta parameter lainnya seperti daya listrik yang dibutuhkan, maka selanjutnya adalah menghitung besarnya efisiensi elektroliser. Efisiensi elektroliser merupakan perbandingan antara produktivitas gas Hidrogen apabila dibandingkan dengan daya listrik yang dibutuhkan menggunakan persamaan (2-5) berikut.

$$\eta = \frac{Q_{H_2} \times \rho_{H_2} \times LHV_{H_2}}{P} \times 100\% \quad (2-5)$$

Di mana:

$\rho_{H_2}$  = Massa jenis gas Hidrogen [0,0899gr/l]

LHV  $H_2$  = *Low Heating Value* atau nilai kalor bawah gas Hidrogen [119950J/gr].

$QH_2$  = Besarnya massa alir gas Hidrogen [l/s].

P = Daya listrik yang dibutuhkan elektroliser [Watt].

## 2.10 Hipotesis

Penambahan luas permukaan dari elektroda akan mempengaruhi besarnya hambatan pada proses elektrolisis dimana besarnya hambatan semakin mengecil. Semakin besar ukuran *mesh* elektroda atau semakin banyak jumlah *mesh* per satuan inch<sup>2</sup>, maka luas permukaan elektroda semakin besar sehingga hambatan berkurang dan meningkatkan produktivitas gas Hidrogen. Penambahan tegangan dalam hambatan yang sama akan memperbesar arus listrik elektrolisis sehingga produktivitas gas Hidrogen juga semakin meningkat. Begitu pula dengan adanya penambahan katalis  $NaHCO_3$ , maka laju reaksi elektrolisis akan semakin cepat.

