

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Berdasarkan riset yang dilakukan oleh Chandra Silaen dan Djoko Sungkono Kawano (2014) mengenai optimalisasi generator gas HHO Tipe *Wet cell* Dimensi 160x160 mm dan 120x120mm Dengan Penambahan *Digital Pulse Width Modulation* Dan Netral Plat membuktikan bahwa PWM daya untuk generator gas HHO lebih dapat dikontrol, laju produksi gas HHO dengan PWM lebih kecil dengan produksi gas HHO pada generator gas HHO tanpa PWM namun temperature elektrolit dari generator gas HHO dengan PWM lebih rendah. Pada generator gas HHO berdimensi 120x120mm didapat nilai efisiensi pada pengujian tanpa PWM sebesar 65,33% sedangkan pada pengujian dengan PWM didapat nilai efisiensi terbesar didapat sebesar 52,75% pada *duty cycle* 90% dengan frekuensi 500 Hz. Pada generator gas HHO berdimensi 160x160mm didapat nilai efisiensi pada pengujian tanpa PWM sebesar 62,82% sedangkan pada pengujian dengan PWM didapat nilai efisiensi terbesar didapat sebesar 49,89% pada *duty cycle* 90% dengan frekuensi 1000 Hz.

Ratih Novie Arini dan Djoko Sungkono Kawano (2012) mengenai reset tentang Pengaruh Variasi *Duty Cycle* Pada *Pulse Width Modulation* Terhadap Performa Generator Gas HHO Tipe Basa (*Wet Cell*) 9 PLAT SS 316L 10x10 mm. membuktikan bahwa analisa yang telah dilakukan mengenai generator HHO tipe basa (*wet cell*) dengan tambahan PWM atau tanpa PWM, arus dan temperatur mengalami kenaikan namun untuk generator tanpa PWM kenaikannya sangat signifikan pada waktu pengujian yang sangat singkat. Laju produksi dari generator HHO mengalami kenaikan karena pengaruh dari kenaikan arus, namun karena bertambahnya arus temperature dari larutan elektrolit juga meningkat hal ini bisa menyebabkan penghasilan uap air serta ketahanan dari komponen generator yang akan menurun, yang perlu dicermati juga adalah dari proses elektrolisis didapati terjadi korosi pada plat – plat

*stainless steel*. Daya dari generator gas HHO dipengaruhi oleh besar tegangan, maka energi yang mengalir melalui suatu penghantar juga semakin besar. Daya ini dipengaruhi arus listrik yang juga mempunyai hambatan elektroda, semakin kecil hambatan elektroda, maka semakin besar daya yang mengalir pada elektroda tersebut. Elektroda tersebut juga dipengaruhi oleh dimensi elektroda dan hambatan jenis elektroda itu sendiri.

Pengujian mengenai performa generator dengan penambahan PWM (*Pulse Width Modulator*). Dalam penelitian ini yang divariasikan yaitu frekuensi dari PWM tersebut, yakni 5 kHz, 3 kHz, dan 1 kHz serta pengujian tanpa menggunakan PWM atau secara *direct*. Namun dari hasil penelitian tersebut, yang berkaitan dengan penelitian ini yaitu hasil pengujian dengan sistem *direct connection* atau tanpa menggunakan PWM. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa laju produksi HHO yang terbesar yaitu yang dihasilkan dari generator HHO tanpa penambahan PWM (*direct*) yakni  $8.99281 \times 10^{-6} - 1.2216 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ . Begitu pula dengan efisiensi generator maupun *flowrate* gas HHO didapatkan hasil tertinggi dari generator HHO tanpa penambahan PWM (*direct*). Namun memiliki kelemahan dari generator HHO tersebut tanpa penambahan PWM, yakni kenaikan arus maupun temperatur yang cukup drastis (Wardiyanto, 2013).

Penelitian tentang komparasi performa Generator Gas HHO dengan Elektroda SS 304 Plat dan Spiral. Didapatkan laju produksi gas HHO terbesar dihasilkan oleh generator HHO yang menggunakan elektroda berbentuk plat dengan nilai tertinggi 0,001175 g/s. Namun efisiensi generator tertinggi dihasilkan oleh generator HHO menggunakan elektroda berbentuk spiral sebesar 54,72% pada temperatur 25° celcius dan arus 1,2 amper. Temperatur dan arus tertinggi pada generator menggunakan elektroda berbentuk plat dengan nilai 74° celcius dan 4,5 Amper (Fitriyana, B. 2011).

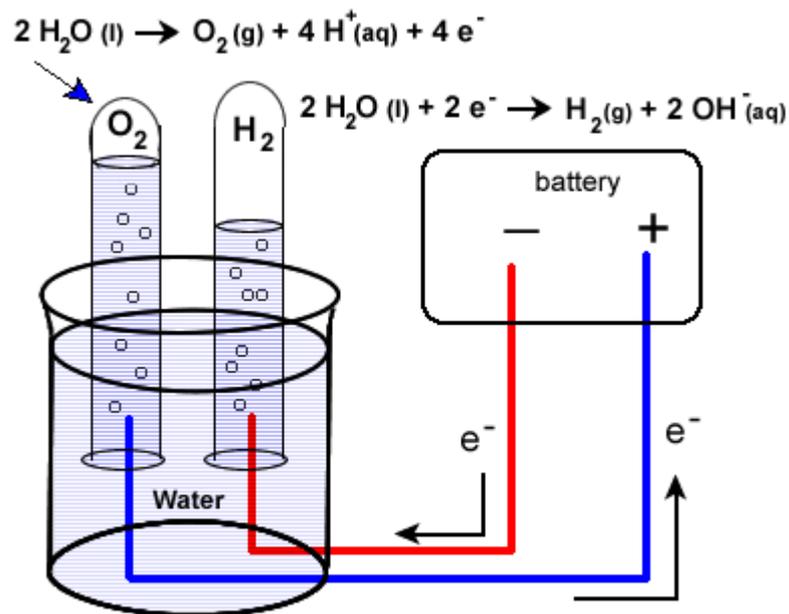
## 2.2.Dasar Teori

### 2.2.1.Elektrolisa

Elektrolisis adalah suatu proses pemecahan senyawa kimia tertentu menjadi suatu molekul baru dengan bantuan arus listrik dan dua elektroda (Helmenstine, 2001). Dimana arus listrik tersebut dialirkan pada elektroda positif (anoda) dan elektroda negatif (katoda). Untuk mempercepat reaksi elektrolisis diperlukan adanya elektrolit sebagai katalis. Untuk melakukan proses elektrolisa kita hanya membutuhkan 4 komponen utama yaitu baterai, elektroda, elektrolit dan bejana air.

### 2.2.2.Brown's Gas (Hidrogen Hidrogen Oksida, HHO)

Brown's gas yaitu gas dari proses pemecahan air murni ( $H_2O$ ) dengan teknologi elektrolisis. Gas yang dihasilkan dari proses elektrolisis air tersebut merupakan gas hidrogen dan oksigen, dengan komposisi 2 hidrogen dan 1 oksigen (HHO) (Lowrie, 2005). Oleh karena itu Brown's gas juga lebih dikenal dengan istilah gas HHO, selain itu gas HHO juga dikenal dengan sebutan *oxy-hydrogen*.



Gambar 2.1 Brown's Gas

Teknologi untuk memecah molekul air menjadi gas HHO dengan cara elektrolisis air sebenarnya telah ditemukan sejak tahun 1800 oleh William Nicholson dan Johann Ritter. Kemudian pada tahun 1805, Isaac de rivaz (1752-1828) menggunakan gas hidrogen dari hasil elektrolisis air sebagai bahan bakar mesin pembakaran internal yang ia rancang dan ia buat sendiri (Hidayatullah, P. dan F.Mustari, 2008). Pada saat itu bahan bakar fosil belum ditemukan. Namun gas hasil dari elektrolisis air tersebut baru diberi nama dan dipatenkan oleh Yull Brown, pada tahun 1974. Gas hasil dari elektrolisis air tersebut diberi nama Brown's gas. Selain menggunakannya sebagai suplemen bahan bakar pada mesin, Yull Brown juga menggunakan brown's gas untuk pengelasan (*cutting and welding torch*)

### 2.2.3.Sistem Elektrolisa Air

Proses elektrolisa air adalah penguraian  $H_2O$  menjadi  $H_2$  dan  $O_2$  dengan bantuan elektroda yang diberi tegangan listrik. Faktor yang mempengaruhi elektrolisa antara lain adalah :

#### 1. Energi Penguraian Air

Secara konvensional diperlukan energi sebesar 286 kJ untuk menghasilkan 1 mol hidrogen ( $H_2$ ) atau 2 g  $H_2$  sama dengan 24.287 liter  $H_2$ , sehingga untuk membuat 1kg  $H_2$  diperlukan 39.72 kWh (*Archer Energy System, Inc.*) 1kg  $H_2$  setara dengan energi 1 galon/3.78541 litergasolin. Pada laporan eksperimen Global Hidrogen Inc. disebutkan 4 kg hidrogen mampu menggerakkan kendaraan sejauh 270 mil.

#### 2. Frekuensi

Material yang dioperasikan pada frekuensi yang sama dengan frekuensi natural material tersebut akan lebih cepat rusak karena beresonansi. Demikian juga yang dialami air jika diberikan frekuensi tertentu (pada percobaan Stanley Meyer frekuensi yang dipakai adalah 43430 Hz-143762 Hz) mampu menguraikan air dengan energi listrik yang lebih rendah.

#### 3. Penggunaan Katalisator

Katalisator misalnya KOH, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan lain-lain berfungsi mempermudah proses penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen karena ion-ion katalisator mampu mempengaruhi kestabilan molekul air menjadi ion H dan OH yang lebih mudah di elektrolisis, dengan kata lain energi untuk menguraikan air menjadi lebih rendah.

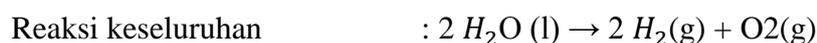
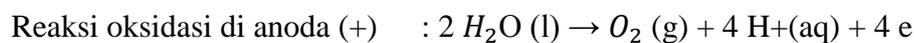
#### 4. Tegangan dan Arus Elektrolisa

Besar tegangan dan arus listrik berbanding lurus dengan banyak gas yang dihasilkan, karena terkait dengan kesetimbangan energi dalam proses elektrolisis. Dengan efisiensi 100% diperlukan 3 kWh setiap meter kubik hidrogen pada temperatur 20°C. Efisiensi 100% diperoleh jika tegangan antar elektroda sebesar 1,23 Volt. Sedangkan tegangan selebihnya terbuang sebagai panas. Pada umumnya elektroda yang dipakai pada generator HHO seperti platinum dan *stainless steel* mempunyai resistansi sehingga tegangan yang harus diberikan lebih dari 1,48 Volt. Intensitas arus pada elektroda adalah sebesar 0,4 mA/cm<sup>2</sup>, jika intensitas dinaikkan akan memberi peluang korosi pada elektroda. (Kothari et al. 2006,) memaparkan efek dari variasi tegangan input terhadap *hydrogen production rate* (HPR) dan *efficiency* generator HHO. Penelitian dilakukan dengan menggunakan Hoffman Voltmeter dengan variasi elektroda platinum dan baja; jarak antar elektroda 8 cm, tegangan input DC divariasikan 1.4, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.4, 3.0, 6.0, 9.0 dan 12.0 V dan variasi KOH 10%, 25% dan 50%. Dari penelitian tersebut diperoleh bahwa efisiensi generator terbaik terletak pada tegangan input antara 2 dan 2,4 V, dan variasi KOH 50% pada elektroda platinum dan KOH 25% pada elektroda baja.

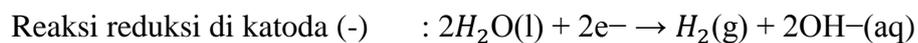
#### 2.2.4. Proses Elektrolisis Air untuk Memproduksi gas HHO

Salah satu cara untuk menghasilkan hidrogen adalah dengan proses elektrolisa air, Elektrolisis air merupakan proses elektrolisa yang dimanfaatkan untuk memecah molekul air (H<sub>2</sub>O) menjadi Hidrogen (H<sub>2</sub>) dan Oksigen (O<sub>2</sub>). Elektrolisis air pada dasarnya dilakukan dengan

mengalirkan arus listrik ke air melalui dua buah elektroda (katoda dan anoda). Agar proses elektrolisa dapat terjadi dengan cepat maka air tersebut dicampur dengan elektrolit sebagai katalis. Proses elektrolisis air dapat terjadi dengan setengah reaksi asam ataupun basa (*alkaline electrolysis*) ataupun keduanya. Terjadinya reaksi asam ataupun basa tergantung oleh kondisi lingkungan/jenis elektrolit yang digunakan (Dopp, R.B. 2007). Jika elektrolit yang digunakan berupa larutan asam seperti HCl dan  $H_2SO_4$  maka reaksi yang terjadi adalah reaksi asam. Pada reaksi ini reaksi reduksi terjadi pada elektroda negatif (katoda), dimana elektron ( $e^-$ ) dari katoda diikat oleh kation  $H^+$  untuk membentuk gas Hidrogen ( $H_2(g)$ ). Sedangkan pada elektroda positif (anoda), molekul  $H_2O$  kehilangan elektron ( $e^-$ ) sehingga terpecah menjadi gas Oksigen ( $O_2(g)$ ) dan kation  $H^+$ .

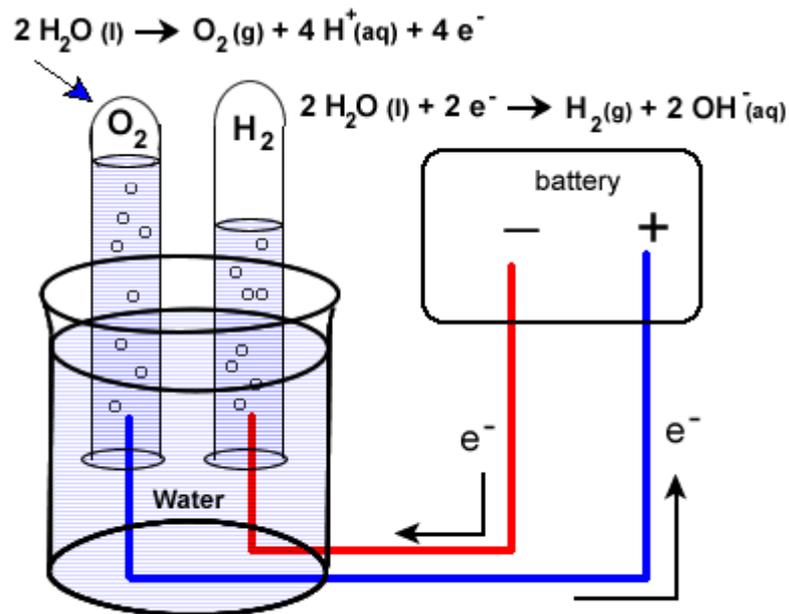


Jika elektrolit yang digunakan adalah larutan basa seperti KOH, NaOH (basa dari golongan periode IA, alkali tanah) maka akan terjadi reaksi basa. Pada reaksi basa, reaksi reduksi terjadi di katoda dimana molekul air mengikat electron ( $e^-$ ) sehingga terpecah menjadi gas Hidrogen ( $H_2(g)$ ) dan anion  $OH^-$ . Anion  $OH^-$  tersebut kemudian tertarik kesisi anoda dan terpecah menjadi gas oksigen dan molekul  $H_2O(l)$ , sebagaimana dapat dilihat pada persamaan reaksi kimia berikut:



Tetapi jika elektrolit yang digunakan dari jenis garam seperti NaCl, KCl, dan  $Na_2CO_3$ , maka akan terjadi reaksi asam dan basa. Dari kedua reaksi asam ataupun basa dapat dilihat bahwa pada kedua reaksi tersebut produk yang dihasilkan dari elektrolisa 2 mol  $H_2O$  memiliki komposisi yang sama yaitu 2 mol gas Hidrogen dan 1 mol gas Oksigen. Pada kedua jenis

reaksi diatas gas Hidrogen juga dihasilkan pada elektroda negatif (katoda) dan gas oksigen dihasilkan pada elektroda positif (anoda).



Gambar 2.2. Proses elektrolisis menghasilkan gas HHO

### 2.2.5. Komponen Elektrolisis

Komponen penting yang menunjang proses elektrolisis untuk menghasilkan gas HHO adalah tabung elektroliser, elektroda (katoda dan anoda) *Pulse width modulation* (PWM), larutan elektrolit dan baterai.

#### 1. Tabung Elektroliser (Generator HHO)

Tabung elektroliser merupakan tempat penampungan larutan elektrolit, sekaligus tempat berlangsungnya proses elektrolisis untuk menghasilkan gas HHO. Di dalam tabung ini terdapat kedudukan elektroda yang akan diberi arus listrik dari baterai (accu). Tabung utama elektroliser terbuat dari material/bahan PVC, akrilik atau plastic yang tahan panas. Karena proses elektrolisis di dalam tabung elektroliser untuk menghasilkan gas HHO menggunakan reaksi elektrokimia yang dapat menimbulkan panas. Generator HHO diklasifikasikan menjadi dua tipe, yakni sebagai berikut:

##### a. Generator HHO Tipe kering (*dry cell*)

Generator HHO dimana sebagian elektrodanya tidak terendam elektrolit.

Keuntungan generator HHO tipe kering (*dry cell*) adalah :

- 1) Penggunaan air untuk proses elektrolisa hanya sedikit, yaitu hanya air yang terjebak diantara lempengan *cell*.
- 2) Ada sirkulasi air dengan tambahan *reservoir*, dimana cukup untuk menurunkan temperatur kerja dari generator itu sendiri.
- 3) Konstruksinya yang simpel, tidak memerlukan space yang banyak.



Gambar 2.3. Generator HHO tipe kering (*dry cell*)

b. Generator HHO Tipe basa (*wet cell*)

Generator HHO dimana semua elektrodanya terendam cairan elektrolit di dalam sebuah bejana air. Keuntungan generator gas HHO tipe basa (*wet cell*) adalah:

- 1) Produksi yang dihasilkan lebih banyak dikarenakan luasan elektroda yang sepenuhnya terendam larutan elektrolit.
- 2) Perawatan generator yang lebih ringkas
- 3) Pembuatan generator tipe basa (*wet cell*) lebih mudah dan cepat



Gambar 2.4. Generator HHO Tipe basa (*wet cell*)

## 2. Elektroda

Elektroda adalah komponen yang sangat penting dalam proses elektrolisis. Elektroda berfungsi sebagai penghantar arus listrik dari sumber listrik ke air yang akan dielektrolisis. Pada elektrolisis yang menggunakan arus DC, elektroda terbagi menjadi dua kutub yaitu positif sebagai anoda dan negatif sebagai katoda. Material serta luasan elektroda yang digunakan sangat berpengaruh terhadap gas HHO yang dihasilkan dari proses elektrolisis air. Secara teori, luas permukaan yang sama akan menghasilkan volume gas yang sama karena adsorpsi pereaksi di permukaan mengalami kesetimbangan yang sama, dengan luasan yang sama distribusi pereaksi di permukaan juga sama.

Serangkaian percobaan telah dilakukan untuk menguji efek dari penggunaan ukuran elektroda yang berbeda pada efisiensi proses produksi gas HHO tipe kering (*dry cell*) (Nagai et al. 2003). Sebagai hasilnya menunjukkan, pada lebar elektroda yang sama, lebih besar H (tinggi elektroda) akan menyebabkan tambahan disipasi daya dalam sel. Alasan itu

disampaikan untuk menjawab pembentukan volume yang lebih besar dari fraksi void.

Material elektroda harus dipilih dari material yang memiliki konduktifitas listrik dan tahan terhadap korosi. titanium dan logam mulia seperti emas dan platina memiliki nilai konduktifitas dan ketahanan terhadap korosi yang tinggi namun keberadaannya di pasaran sangat terbatas sehingga harganya menjadi relatif sangat mahal. Oleh karena itu, perlu dicari material lain yang mempunyai sifat konduktifitas dan ketahanan korosi yang baik namun harganya relatif lebih murah dan tersedia di pasaran. *Stainless steel* 201 adalah logam paduan yang memiliki konduktifitas dan ketahanan terhadap korosi relatif lebih baik dibanding logam-logam paduan ataupun logam murni lainnya dan harganya juga relatif lebih terjangkau. Sehingga *Stainless steel* 201 menjadi pilihan yang sangat tepat untuk digunakan sebagai elektroda pada proses elektrolisis.

*Stainless steel* merupakan baja paduan logam besi (Fe) dengan unsur paduan utama Carbon (C), Nikel (Ni), dan Chromium (Cr). Secara garis besar *stainless steel* dapat dibagi-bagi menjadi lima kelompok (Cobb, 1999), yaitu :

- a. *Austenitic Stainless Steel*
- b. *Ferritic Stainless Steel*
- c. *Martensitic Stainless Steel*
- d. *Duplex Stainless Steel (austenitic-ferritic)*
- e. *Precipitation Hardening Stainless Steel*

Setiap kelompok *stainless steel* terbagi-lagi menjadi beberapa tipe *stainless steel* dengan persentase dan kandungan unsur paduan yang berbeda-beda, adapun data yang lebih jelas mengenai paduan *stainless steel* dari berbagai kelas dapat dilihat pada tabel 2.1.

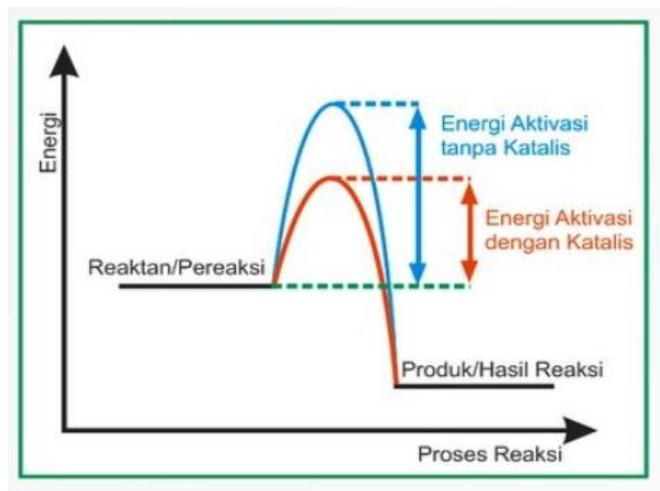
AISI+ Type	Cr	Ni	C	Mn	Si	P	S	Other	REMARKS
201	16-18	3.5-5.5	.15 max	5.5-7.5	1 max	.06 max	.03 max	N .25 max	Low-nickel Equivalent of Type 301
202	17-19	4-6	.15 max	7.5-10	1 max	.06 max	.03 max	N .25 max	Low-nickel Equivalent of Type 302
301	16-18	6-8	.15 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max		High Work-hardening
302	17-19	8-10	.15 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max		General-Purpose "18-8"
302B	17-19	8-10	.15 max	2 max	2-3	.045 max	.03 max		More Scaling Resistance than Type 302
303	17-19	8-10	.15 max	2 max	1 max	.2 max	.15 min	.6 Mo or .6 Zr optional	Free Machining "18-8"—Heavy Cuts
303Se	17-19	8-10	.15 max	2 max	1 max	.2 max	.06 max	Se .15 min	Free Machining "18-8"—Light Cuts
304	18-20	8-12	.08 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max		Low-Carbon—For Welding
304L	18-20	8-12	.03 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max		Lower-Carbon—For Welding
305	17-19	10-13	.12 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max		Lower Work-hardening Rate
308	19-21	10-12	.08 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max		Welding Rod—For Ductility
309	22-24	12-15	.2 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max		High-temp Strength and Scaling Resistance
309S	22-24	12-15	.08 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max		Low-Carbon Type 309—For Welding
310	24-26	19-22	.25 max	2 max	1.5 max	.045 max	.03 max		Better High-temp Strength and Scaling Res.
310S	24-26	19-22	.08 max	2 max	1.5 max	.045 max	.03 max		Low-Carbon Type 310—For Welding
314	23-26	19-22	.25 max	2 max	1.5-3	.045 max	.03 max		Most Scaling Resistant
316	16-18	10-14	.08 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max	Mo 2-3	Increased Corrosion Resistance
316L	16-18	10-14	.03 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max	Mo 2-3	Low-carbon Type 316—For Welding
317	18-20	11-15	.08 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max	Mo 3-4	More Corrosion Resistance than Type 316
321	17-19	9-12	.08 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max	Ti 5xC min	Stabilized Against Carbide Precipitation
347	17-19	9-13	.08 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max	Cb+Ta 10XC min	Stabilized Against Carbide Precipitation
348	17-19	9-13	.08 max	2 max	1 max	.045 max	.03 max	Cb+Ta 10XC min but Ta .1 max	Stabilized Against Carbide Precipitation
403	11.5-13	—	.15 max	1 max	.5 max	.04 max	.03 max		Like Type 410—"Turbine Quality"
405	11.5-14.5	—	.08 max	1 max	1 max	.04 max	.03 max	Al .1-3	Reduced Heat-treat-hardenableity
410	11.5-13.5	—	.15 max	1 max	1 max	.04 max	.03 max		General-Purpose "12 Cr"
414	11.5-13.5	1.25-2.5	.15 max	1 max	1 max	.04 max	.03 max		Better Strength than Type 410
416	12-14	—	.15 max	1.25 max	1 max	.06 max	.15 min	.6 Mo or .6 Zr optional	Free Machining "12 Cr"—Heavy Cuts
416Se	12-14	—	.15 max	1.25 max	1 max	.06 max	.06 max	Se .15 min	Free Machining "12 Cr"—Light Cuts
420	12-14	—	over .15	1 max	1 max	.04 max	.03 max		Like Type 410—For Higher Hardness
430	14-18	—	.12 max	1 max	1 max	.04 max	.03 max		General-Purpose "17 Cr"
430F	14-18	—	.12 max	1.25 max	1 max	.06 max	.15 min	.6 Mo or .6 Zr optional	Free Machining "17 Cr"—Heavy Cuts
430F Se	14-18	—	.12 max	1.25 max	1 max	.06 max	.06 max	Se .15 min	Free Machining "17 Cr"—Light Cuts
431	15-17	1.25-2.5	.2 max	1 max	1 max	.04 max	.03 max		Hardenable—High Impact Strength
440A	16-18	—	.6-.75	1 max	1 max	.04 max	.03 max	Mo .75 max	Higher Hardness than Type 420
440B	16-18	—	.75-.95	1 max	1 max	.04 max	.03 max	Mo .75 max	Higher Hardness than Type 440A
440C	16-18	—	.95-1.2	1 max	1 max	.04 max	.03 max	Mo .75 max	Higher Hardness than Type 440B
446	23-27	—	.2 max	1.5 max	1 max	.04 max	.03 max	N .25 max	Scaling Resistance at Elev Temp
501	4-6	—	over .10	1 max	1 max	.04 max	.03 max	Mo 0.40-0.65	Heat Resistant, Good Mechanical Properties at Elev Temp
502	4-6	—	.10 max	1 max	1 max	.04 max	.03 max	Mo 0.40-0.65	When Annealed, Greater Ductility, Lower Tensile Strength than Type 501

Sumber: *Corrosion Science and Technology* (Tabolt, 1998)

### 3. Katalisator

Pada saat proses elektrolisis air, katalisator yang digunakan merupakan elektrolit. Elektrolit didefinisikan sebagai konduktor listrik dimana arus listrik dibawahi oleh ion (Gaikwad, S. K., 2004). Dengan melarutkan elektrolit di dalam air akan meningkatkan konduktivitas listrik dari air. Oleh karena itu dengan penambahan elektrolit sebagai katalis pada

proses elektrolisis akan menurunkan energi yang dibutuhkan, sehingga laju reaksi pemecahan molekul air menjadi lebih cepat. Dan apabila jumlah elektrolit yang dilarutkan ke air semakin banyak maka konduktivitas listrik dari air akan semakin tinggi, maka laju produksi gas HHO yang dihasilkan dengan proses elektrilisis air juga akan semakin meningkat, akan tetapi jika elektrolit yang dilarutkan ke air terlalu banyak maka energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan gas HHO akan semakin besar karena larutan elektrolit akan semakin jenuh sehingga pergerakan ion-ion didalamnya menjadi terhambat.



Gambar 2.5. Grafik hubungan antara reaksi kimia terhadap energi yang dibutuhkan untuk terjadinya reaksi (sumber: Rossum,J.R., 2000)

Banyak jenis katalis yang digunakan pada proses elektrolisis diantaranya yang sering digunakan yaitu sodium bikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ), natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ), dan kalium hidroksida ( $\text{KOH}$ ).

Berdasarkan gambar 2.5 dapat terlihat bahwa penggunaan katalis memberikan alternatif mekanisme lain yang, energi aktivasinya lebih rendah sehingga reaksi dapat berjalan dengan lebih cepat. Pembentukan kompleks teraktivasi akan lebih tercapai dengan penambahan katalis yang menyebabkan reaksi dapat lebih cepat berjalan. Dalam penelitian ini menggunakan larutan elektrolit Kalium Hidroksida ( $\text{KOH}$ ).

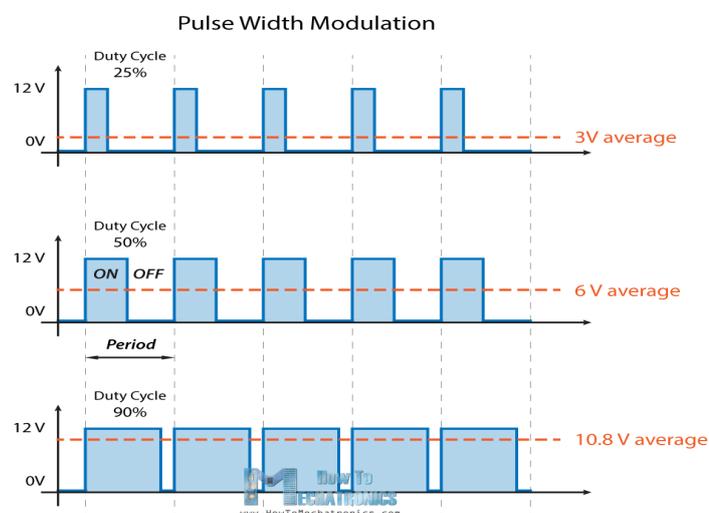
Tabel 2.3 Karakteristik Kalium Hidroksida (KOH)

No	KARAKTERISTIK	SATUAN	NILAI
1	Berat Molekul	gr/mol	56,1
2	Titik Lebur	oC	360
3	Titik Didih	oC	1320
4	Densitas	gr/cm <sup>3</sup>	2,04
5	Sangat korosif		

Sumber: *Chemistry* (McMurry, J. dan Robert, C., 2001)

#### 4. *Pulse Width Modulation*

*Pulse Width Modulation* (PWM) secara umum adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa on dan pulsa off dalam suatu perioda, untuk mendapatkan tegangan rata – rata yang berbeda. Prinsip dasar dari *Pulse Width Modulation* (PWM) pada umumnya memiliki amplitude dan frekuensi dasar yang tetap namun memiliki lebar pulsa yang bervariasi, lebar pulsa PWM berbanding lurus dengan amplitude sinyal asli yang belum termodulasi. Artinya, sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) memiliki frekuensi gelombang yang tetap namun *duty cycle* dapat divariasikan (antara 0% hingga 100%).



Gambar 2.6. *Pulse width modulation*

*Duty cycle* dengan frekuensi tetap tegangan pulsa dari sumber listrik DC yang digunakan tersebut dapat diatur *duty cycle*-nya dimana *duty cycle* inilah yang kemudian dijadikan sebagai sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM). *Duty cycle* sendiri dapat dirumuskan sebagai berikut:

dimana  $T_{total} = T_{on} + T_{off}$  atau bisa disebut sebagai periode.

Sebenarnya sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) dapat dibangkitkan dengan banyak cara antara lain dapat menggunakan metode analog dengan menggunakan rangkaian Op-amp atau dengan menggunakan metode digital. Dengan menggunakan metode analog setiap perubahan PWM-nya sangat halus sedangkan menggunakan metode digital setiap perubahan *Pulse Width Modulation* (PWM) dipengaruhi oleh resolusi dari PWM itu sendiri. Resolusi merupakan jumlah variasi perubahan nilai dalam PWM tersebut. Misalkan suatu PWM memiliki resolusi 8 bit berarti PWM ini memiliki variasi perubahan nilai sebanyak  $2^8 = 256$  variasi mulai dari 0 – 255 perubahan nilai yang memiliki *duty cycle* 0% - 100% dari keluaran PWM tersebut. Pada penelitian ini digunakan digital *Pulse width modulation*, digital PWM ini memiliki kelebihan dari analog PWM antara lain;

1. Signal yang dihasilkan lebih presisi dan akurat dibandingkan analog PWM.
2. *Error* yang terjadi seminimal mungkin terjadi pada digital *Pulse Width Modulation* (PWM).
3. Besaran *duty cycle* dan frekuensi dapat dilihat pada LCD tanpa menggunakan bantuan osiloskop untuk melihatnya seperti pada analog PWM.
4. Dapat mengontrol multivariabel dalam suatu proses.
5. Proses pengaturannya lebih simple karena proses kerja PWM diatur oleh 1 unit board mikrokontrol arduino uno untuk kontrol semua proses.

Selain *duty cycle* ada variable lain yaitu frekuensi yang bisa diatur pada *Pulse Width Modulation* (PWM) ini, frekuensi merupakan banyak gelombang yang terjadi per satuan waktu. Pada *Pulse Width Modulation* ini range frekuensinya antara 50Hz–3 kHz. Dimana pengaturan besar frekuensi dilakukan dengan menekan tombol *push button*

Adapun komponen pendukung dalam rencangan dan pembuatan *Pulse width modulation* (PWM) antara lain yaitu:

a. Arduino

Arduino Nano adalah papan pengembangan (development board) mikrokontroler yang berbasis chip ATmega328P dengan bentuk yang sangat mungil. Secara fungsi tidak ada bedanya dengan Arduino Uno. Perbedaan utama terletak pada ketiadaan jack power DC dan penggunaan konektor Mini-B USB. papan sirkuit berbasis mikrokontroler ATmega328. IC (*integrated circuit*) ini memiliki 14 input/output digital (6 output untuk PWM), 6 analog input, resonator kristal keramik 16 MHz, Koneksi USB, pin header ICSP, dan tombol *reset*. Hal inilah yang dibutuhkan untuk mensupport mikrokontrol secara mudah terhubung dengan kabel power USB.



Gambar 2.7. Arduino NANO

Sumber <http://kursuselektronikaku.blogspot.co.id/2016/04>

Untuk keunggulan board Arduino Uno Revision 3 antara lain:

- 1) pinout: ditambahkan pin SDA dan SCL di dekat pin AREF dan dua pin lainnya diletakkan dekat tombol *RESET*, fungsi IOREF melindungi kelebihan tegangan pada papan rangkaian. Keunggulan perlindungan ini akan kompatibel juga dengan dua jenis board yang menggunakan jenis

AVR yang beroperasi pada tegangan kerja 5V dan Arduino Due tegangan operasi 3.3V

- 2) Rangkaian *RESET* yang lebih mantap.
- 3) Penerapan ATmega328P pengganti 8U2.
  - a) Microcontroller ATmega328
  - b) Operating Voltage 5V
  - c) Input Voltage (*recommended*) 7-12V
  - d) Digital I/O Pins 14 (*of which 6 provide PWM output*)
  - e) Analog Input Pins 6
  - f) DC Current per I/O Pin 40 mA
  - g) DC Current for 3.3V Pin 50 mA
  - h) *Flash Memory* 32 KB (ATmega328) *of which 0.5 KB used by bootloader* SRAM 2 KB (ATmega328)
  - i) EEPROM 1 KB (ATmega328)
  - j) *Clock Speed* 16 MHz
  - k) *Length* 68.6 mm
  - l) *Width* 53.4 mm
  - m) *Weight* 25 g

#### 4) Memory

ATmega328 memiliki memory 32 KB (dengan 0.5 KB digunakan sebagai *bootloader*. Memori 2 KB SRAM dan 1 KB EEPROM (yang dapat baca tulis dengan libari EEPROM).

#### 5) Input dan Output

Masing-masing dari 14 pin NANO dapat digunakan sebagai input atau output, menggunakan perintah fungsi *pinMode()*, *digitalWrite()*, dan *digitalRead()* yang menggunakan tegangan operasi 5 volt. Tiap pin dapat menerima arus maksimal hingga 40mA dan resistor internal *pull-up* antara 20-50kohm, beberapa pin memiliki fungsi kekhususan antara lain:

- a) Serial: 0 (RX) dan 1 (TX). Sebagai penerima (RX) dan pemancar (TX) TTL serial data. Pin ini terkoneksi untuk pin korespondensi chip ATmega8U2 USB-toTTL Serial.
- b) *External Interrupts*: 2 dan 3. Pin ini berfungsi sebagai konfigurasi trigger saat *interupsi value low*, naik, dan tepi, atau nilai *value* yang berubah-ubah.
- c) PWM: 3, 5, 6, 9, 10, dan 11. Melayani output 8-bit PWM dengan fungsi `analogWrite()`.
- d) SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Pin yang support komunikasi SPI menggunakan SPI library.
- e) LED: 13. Terdapat LED indikator bawaan (built-in) dihubungkan ke digital pin 13, ketika nilai value HIGH led akan ON, saat value LOW led akan OFF.
- f) Nano memiliki 6 analog input tertulis di label A0 hingga A5, masing-masingnya memberikan 10 bit resolusi (1024). Secara asal input analog tersebut terukur dari 0 (*ground*) sampai 5 volt, itupun memungkinkan perubahan teratas dari jarak yang digunakan oleh pin AREF dengan fungsi `analogReference()`.

Sebagai tambahan, beberapa pin ini juga memiliki kekhususan fungsi antara lain:

- 1) TWI: pin A4 atau pin SDA dan and A5 atau pin SCL. Support TWI *communication* menggunakan *Wire library*. Inilah pin sepasang lainnya di board UNO:
- 2) AREF. Tegangan referensi untuk input analog. digunakan fungsi `analogReference()`.
- 3) *Reset*. Meneka jalur LOW untuk mereset mikrokontroler, terdapat tambahan tombol *reset* untuk melindungi salah satu blok.

*Microcontroller* ATmega328 pada Arduino Nano dapat *preburned* dengan bootloader yang dapat anda upload kode baru tanpa menggunakan programmer perangkat lainnya. Komunikasi menggunakan protokol original STK500. Anda dapat pula langsung bootloader dan program pada

microcontroller melalui ICSP (*In-Circuit Serial Programming*) menggunakan Arduino ISP atau yang semisalnya. Pada ATmega328P ( atau 8U2 di rev1 dan rev2 board ) dapat melihat *firmware source code*. Pada ATmega328P load-nya dengan DFU bootloader, yang dapat diaktifkan di antaranya:

- a) On Rev1 boards: menyambung jumper solder di balik *board* dan kemudian mereset 8U2.
- b) On Rev2 or later boards: Resistor suntikan pada 8U2/16U2 HWB ke jalur *ground*, hal ini dapat membuat mudah masuk ke mode DFU.
- 6) *Automatic (Software) Reset*

Agak dibutuhkan tekan tombol *reset* sebelum *upload*, sebab Arduino Uno dirancang *reset* dulu oleh *software* ketika terhubung dengan komputer. Satu komponen jalur kontrol aliran (DTR) dari ATmega8U2/16U2 yang terhubung di *reset* seperti halnya ATmega328 dengan 100 nanofarad kapasitor. *Software upload* kode ini dapat mengupload secara mudah tanpa kehilangan waktu lama saat di tekan start *uploadnya*.

#### 7) *USB Overcurrent Protection*

Arduino Nano memiliki fungsi *resettable polyfuse* untuk memproteksi dari port USB komputer akibat hubung singkat atau kelebihan arus. Jika arus yang melebihi 500mA dari port USB maka fuse secara otomatis putus koneksi hingga *short* atau *overload* dilepaskan dari board ini.

#### 8) Karakteristik Fisik

Panjang PCB Nano 45 mm dan lebar maksimal 18 mm dengan konektor USB. papan pengembangan (*development board*) mikrokontroler yang berbasis chip ATmega328P dengan bentuk yang sangat mungil.

## 2. LCD LM1602

LCD (*liquid cristal display*) berfungsi untuk menampilkan angka, huruf atau symbol dengan lebih baik.dengan konsumsi arus yang rendah. LCD (*liquid cristal display*) merupakan modul lcd buatan itachi. Modul LCD (*liquid cristal display*) dot matrik M1632 terdiri dari bagian penampil

karakter (LCD) yang berfungsi sebagai penampil karakter dan bagian system prosesor LCD dalam bentuk modul dengan mikrokontroler yang diletakan di bagian belakang LCD tersebut yang berfungsi untuk mengatur tampilan LCD serta mengatur komunikasi antar LCD dengan mikrokontroler ang menggunakan modul LCD tersebut. Modul LCD M1632 merupakan modul LCD dengan tampilan 2x16 (2 baris x 16 kolom) dengan konsumsi daya yang rendah.

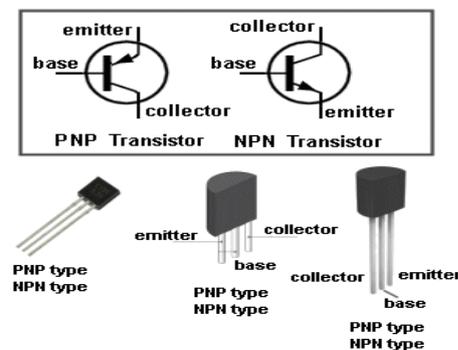


Gambar 2.8. lcd LM1602

(Sumber <http://www.instructables.com/id/>)

### 3. TRANSISTOR

Transistor adalah alat semikonduktor yang dipakai sebagai penguat, sebagai sirkuit pemutus dan penyambung (*switching*), stabilisasi tegangan, modulasi sinyal atau sebagai fungsi lainnya. Transistor dapat berfungsi semacam kran listrik, di mana berdasarkan arus inputnya (BJT) atau tegangan inputnya (FET), memungkinkan pengaliran listrik yang sangat akurat dari sirkuit sumber listriknya.



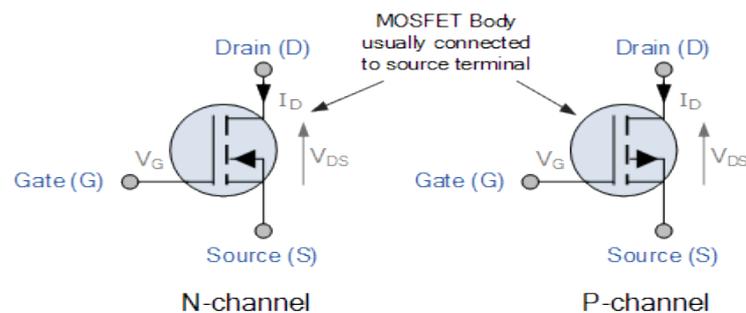
Gambar 2.9 Transistor

(Sumber <https://learn.sparkfun.com/tutorials/transistors>)

Transistor adalah komponen yang sangat penting dalam dunia elektronika modern. Dalam rangkaian analog, transistor digunakan dalam amplifier (penguat). Aplikasi rangkaian analog digunakan untuk penguat suara, sumber listrik stabil (stabilisator) dan penguat sinyal radio. Sedangkan aplikasi pada rangkaian digital meliputi swiching kecepatan tinggi. Beberapa transistor juga dapat dirangkai sedemikian rupa sehingga berfungsi sebagai logic gate, memori dan fungsi lainnya.

#### 4. MOSFET

Transistor efek-medan semikonduktorlogam-oksida (MOSFET) Merupakan salah satu jenis transistor efek medan. Prinsip dasar perangkat ini pertama kali diusulkan oleh Julius Edgar Lilienfeld pada tahun 1925. MOSFET mencakup kanal dari bahan semikonduktor tipe-N dan tipe-P, dan disebut NMOSFET atau PMOSFET (juga biasa nMOS, pMOS). Ini adalah transistor yang paling umum pada sirkuit digital maupun analog, namun transistor sambungan dwi kutub pada satu waktu lebih umum.



Gambar 2.10. MOSFET

(Sumber: [http://www.electronics-tutorials.ws/transistor/tran\\_6.html](http://www.electronics-tutorials.ws/transistor/tran_6.html))

### 2.3. Parameter Unjuk Kerja Generator HHO

Adapun untuk parameter unjuk kerja yang perlu diketahui adalah sebagai berikut:

1. Daya yang dibutuhkan generator HHO
2. Temperatur fluida pada generator HHO
3. Laju produksi gas HHO
4. Efisiensi Generator HHO

### 2.3.1. Daya yang Dibutuhkan Generator HHO (PHHO), [Watt]

Untuk menghasilkan gas HHO dengan menggunakan proses elektrolisis air dibutuhkan energi listrik. Jika generator HHO dipasang pada kendaraan bermotor, dengan sumber energi listrik diambil dari alternator sepeda motor yang biasa memberikan arus bolak balik. Semakin besar ukuran mesin kendaraan, energi listrik yang dihasilkan dari alternator *engine* akan semakin besar, sehingga arus yang dialirkan ke alternator juga semakin besar.

Energi listrik dari alternator dipergunakan untuk sistem kelistrikan dan pengapian di kendaraan (seperti lampu, pengisian baterai, dan api pada busi). Namun sebagian energi listrik tersebut dapat dipergunakan sebagai sumber tegangan dan arus untuk generator HHO. Energi listrik tersebut jumlahnya terbatas, sehingga generator HHO yang dipasang pada kendaraan dayanya harus dibatasi. Begitu pula ketika generator HHO digunakan pada *engine* penggerak generator, listrik yang dihasilkan oleh generator semaksimal mungkin agar dapat digunakan untuk menyalakan beban. Oleh karena itu harus diketahui seberapa besar daya yang dibutuhkan oleh generator HHO. Perumusan untuk mencari daya yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

$$P = V \times I \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana:

P = daya yang dibutuhkan generator HHO (watt)

V = beda potensial/voltase (volt)

I = arus listrik (ampere)

Beda potensial didapat dengan menggunakan voltmeter yang dipasang paralel dengan rangkaian dan arus listrik dapat diukur menggunakan amperemeter yang dipasang secara seri pada generator HHO tipe basa (*wet cell*) dengan rangkaian PWM selama pengujian berlangsung pengujian dan pengambilan data.

### 2.3.2.Laju Produksi Gas HHO

Produk utama proses elektrolisis air dengan generator HHO merupakan gas HHO (*Brown's gas*). Sehingga untuk mengetahui seberapa baik kinerja generator HHO tipe basa (*wet cell*), perlu diketahui seberapa banyak gas HHO yang dihasilkan saat proses elektrolisis. Secara actual untuk mengetahui seberapa besar volume gas HHO 250cc persatuan waktu dari proses elektrolisis sedangkan untuk mengetahui laju produksi gas HHO dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut ini.

$$m = Q \times \rho \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana :

$$m = \text{Laju produksi Gas HHO (kg / s)}$$

$$Q = \text{debit produksi Gas HHO (m}^3 \text{ / s)}$$

$$\rho = \text{massa jenis HHO (kg / m}^3 \text{)}$$

Dengan perumusan debit Produksi gas HHO:

$$Q = V / t \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

$$V = \text{Volume gas terukur ( m}^3 \text{ )}$$

$$t = \text{Waktu produksi gas HHO.}$$

Dari persamaan kimia reaksi elektrolisis air berikut ini dapat dihitung seberapa besar kandungan dari massa H<sub>2</sub> dalam gas HHO. Jika massa H<sub>2</sub>O yang dielektrolisis sebanyak 1 kg maka massa produk total H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> juga 1 kg sehingga diketahui Mr H<sub>2</sub>O = 18, Mr H<sub>2</sub> = 2 dan Mr O<sub>2</sub> = 32 maka didapatkan mole H<sub>2</sub> :



$$\text{Mol} = \text{massa/Mr} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dari perbandingan mol pada persamaan reaksi kimia elektrolisis air dapat dihitung berapa massa H<sub>2</sub> dalam 1 kg gas HHO, yaitu:

$$m_{H_2} = \text{Mr}H_2 \times \text{mol} = 2 \times \frac{1 \text{ kg}}{18} = \frac{1}{9} \text{ kg}$$

Massa  $H_2$  dalam gas HHO hanya sebesar 1/9 massa total gas HHO, maka NKB gas HHO adalah 1/9 kali NKB gas  $H_2$  yaitu =  $1/9 \times 119,93 \text{ kJ/g} = 13,25 \text{ kJ/kg}$  atau  $3812,754 \text{ kcal/kg}$ . Jika pada STP massa jenis  $H_2$  diketahui sebesar  $\rho_{H_2} = 0,08235 \text{ gr/Ltr}$  dan  $O_2$  sebesar  $\rho_{O_2} = 1,3088 \text{ gr/Ltr}$  (Cole Parmer Instrument, 2005), maka  $\rho_{HHO}$  dapat dicari penurunan persamaan berikut ini:

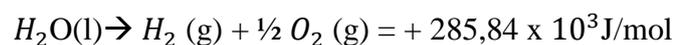
$$\begin{aligned}\rho_{HHO} &= \frac{m_{HHO}}{V_{HHO}} = \frac{m_{H_2} \times m_{O_2}}{V_{HHO}} \\ &= \frac{(\rho_{H_2} \cdot m_{H_2} + \rho_{O_2} \cdot m_{O_2})}{V_{HHO}} \\ &= \frac{(\rho_{H_2} \cdot \frac{2}{3} V_{HHO} + \rho_{O_2} \cdot \frac{1}{3} V_{HHO})}{V_{HHO}} = \frac{2}{3} \rho_{H_2} + \frac{1}{3} \rho_{O_2} \\ \rho_{HHO} &= \left(\frac{2}{3} \times 0,08235 \text{ gr/L}\right) + \left(\frac{1}{3} \times 1,3088 \text{ gr/L}\right) = 0,491167 \text{ gr/L}\end{aligned}$$

### 2.3.3. Efisiensi Generator HHO ( $\eta_{HHO}$ ), [%]

Efisiensi merupakan perbandingan antara energi yang berguna dengan energi yang diberikan pada suatu sistem. Kegunaan menghitung efisiensi suatu alat-alat konversi energi adalah untuk mengetahui seberapa optimal alat tersebut dapat bekerja. Perumusan efisiensi secara umum dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{\text{Energi yang berguna (output)}}{\text{Energi yang diberikan (input)}} \times 100\%$$

Energi yang berguna (input) disini merupakan komponen yang berguna dalam proses elektrolisis pada generator gas HHO, dalam hal ini adalah entalpi generator gas HHO, dalam hal ini adalah Enthalpy generator, enthalpy disini bernilai positif karena reaksi pada generator gas HHO adalah reaksi endoterm atau reaksi yang menyerap panas untuk menghasilkan produk. Sedangkan energi yang digunakan (output) adalah energi yang dibutuhkan generator untuk proses elektrolisis. Nilai input yaitu nilai enthalpy gas ideal.



Lalu untuk nilai energi ikatan yang dibutuhkan dapat diketahui melalui rumusan dibawah ini:

$$p \times V = n \times \bar{R} \times T \dots\dots\dots(2.5)$$

Jika persamaan 2.5 ditinjau persatuan waktu, maka :

$$p \times V = n \times \bar{R} \times T \dots\dots\dots(2.6)$$

$$n = \frac{p \times V}{\bar{R} \times T} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

$p$  = Tekanan Gas ideal (1atm = 100 kPa)

$V$  = Volume per satuan waktu (liter/s)

$\bar{R}$  = Konstanta Gas ideal (8.314472 J/mol.K)

= Mol per satuan waktu (Mol/s)

$T = 298 \text{ K (STP)}$

Ouput = P Gen = V x I, Maka nilai Effisiensi dari generator gas HHO:

$$\eta = \frac{\text{Energi Teoritis yang Digunakan untuk Elektrolisa}}{\text{Energi Aktual yang Dibutuhkan Generator HHO}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{\Delta h_f \times n}{(V \times I)} \times 100\% \dots\dots\dots(2.8)$$