

## ANALISA PENGARUH VARIASI KUAT ARUS LISTRIK TERHADAP PENINGKATAN KAPASITAS GAS HIDROGEN DAN EFISIENSI REAKTOR PADA LAS HHO

Gunawan<sup>1</sup>, Djoko Andrijono<sup>2</sup>, Tuharno<sup>3</sup>

### Abstraksi

Gas HHO merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang diperoleh dari hasil proses elektrolisis air ( $H_2O$ ) menjadi 2 atom hidrogen ( $H_2$ ) dan 1 atom oksigen ( $O_2$ ) sehingga menghasilkan gas terdiri atas gas ( $H_2$ ) dan ( $O_2$ ) selanjutnya disebut dengan istilah *Brown Gas*. Penelitian yang dilakukan pada proses pengelasan dengan gas HHO sebagai sumber energi panas dengan variasi kuat arus listrik pada rangkaian PMW terdiri atas: 50 A, 52 A, 54 A, 56 A, 58 A, 60 A diperoleh bahwa pada kuat arus listrik maksimum 60 A mampu menghasilkan temperatur pembakaran  $1251,78^{\circ} K$  dengan laju aliran produksi gas HHO 0,0193 liter/detik dan energi panasnya 2,665 kJ serta efisiensi reaktor maksimum 35,57 %. Kesimpulan hasil penelitian las HHO hanya dapat digunakan untuk proses pemotongan (membuat lubang) dan proses penyambungan (penyatuan) pada logam induk (*base metal*) yang mempunyai temperatur cair di bawah  $1200^{\circ} K$ .

**Kata Kunci:** *Brown Gas*, Elektrolisis Air, Gas HHO, Las HHO

### PENDAHULUAN

Akibat keterbatasan persediaan bahan bakar fosil saat ini semakin menipis dan tidak dapat diperbaharui, maka upaya untuk mengatasi permasalahan di atas adalah memanfaatkan potensi sumber daya alam yang dapat digunakan sebagai sumber energi terbarukan. Salah satu sumber energi terbarukan yang dapat dikembangkan adalah gas HHO yang diperoleh dengan cara melakukan elektrolisis air ( $H_2O$ ) menjadi 2 atom hidrogen dan 1 atom oksigen sehingga menghasilkan gas terdiri atas gas hidrogen ( $H_2$ ) dan oksigen ( $O_2$ ) selanjutnya disebut dengan istilah *Brown Gas*.

Gas HHO memiliki keunggulan dibanding dengan hidrogen murni, beberapa penelitian telah membuktikan bahwa,  $H_2$  memiliki energi tinggi, tetapi apabila

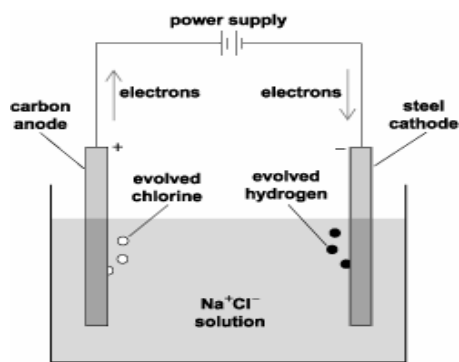
digunakan sebagai bahan bakar mudah meledak. Untuk mengatasinya dapat menggunakan gas HHO yang dapat dibuat melalui proses elektrolisis air. Dengan proses elektrolisis air, gas hanya akan dihasilkan saat diperlukan saja, sehingga Gas HHO dapat digunakan untuk bahan bakar pada proses pengelasan.  $H_2$  dapat diperoleh melalui beberapa cara pemisahan seperti: uap dari elemen karbon yang dipanaskan, dekomposisi beberapa jenis hidrokarbon dengan energi kalor, reaksi natrium atau kalium hidroksida pada aluminium, elektrolisis air dan pergeseran asam oleh logam tertentu. Beberapa cara pemisahan  $H_2$  di atas, maka cara elektrolisis air merupakan cara yang paling mudah dan banyak digunakan karena proses ini paling cepat untuk memisahkan  $H_2$  dari air, yaitu dengan

<sup>1</sup> Alumni Fakultas Teknik Jurusan Mesin Universitas Merdeka Malang

<sup>2</sup> Dosen Fakultas Teknik Jurusan Mesin Universitas Merdeka Malang

<sup>3</sup> Dosen Lemjiantek TNI AD Karangploso Malang

cara mengalirkan arus listrik pada elektroda yang terdapat pada reaktor HHO. Elektrolisis air merupakan proses penguraian molekul air menjadi H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> dengan energi pemicu reaksi berupa energi listrik. Proses ini dapat berlangsung ketika dua buah elektroda ditempatkan dalam air dan arus searah (DC) dilewatkan diantara 2 elektroda, H<sub>2</sub> terbentuk pada katoda, sementara O<sub>2</sub> pada anoda.



Gambar 1. Elektrolisis Air  
(<http://www.panaceauniversity.org>)

Pada katoda, H<sub>2</sub>O tereduksi jadi H<sub>2</sub> dan OH<sup>-</sup> sedangkan pada anoda akan teroksidasi menjadi H<sup>+</sup> dan O<sub>2</sub>, sehingga secara total hasil elektrolisis tersebut adalah H<sub>2</sub> (gr) dan O<sub>2</sub> (gr). Reaksi elektrolisis air mempunyai 2 tipe reaksi reduksi dan oksidasi, yaitu setengah reaksi dengan kesetimbangan asam dan setengah reaksi dengan kesetimbangan basa. Proses elektrolisis air akan dihasilkan 2 molekul H<sub>2</sub> dan juga 1 molekul O<sub>2</sub>. Untuk reaksi secara keseluruhan dapat ditulis sebagai berikut: 2H<sub>2</sub>O → 2H<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> → energi yang dibutuhkan untuk melepaskan ikatan H<sup>+</sup> dan O<sub>2</sub> dari H<sub>2</sub>O.

## Rumus-rumus yang Digunakan:

### 1. Nilai Kalor Gas HHO

$$LHV_{HHO} = \% \text{ berat gas H}_2 \times LHV_{H_2} (\text{kJ/gr})$$

di mana:

$$LHV_{HHO} = \text{nilai kalor rendah gas HHO} (\text{kJ/gr})$$

$$LHV_{H_2} = \text{nilai kalor rendah gas H}_2$$

$$LHV_{H_2} = (119,93 \text{ kJ/gr})$$

### 2. Massa Jenis HHO

$$\rho_{HHO} = \frac{m_{HHO}}{V_{HHO}} = \frac{m_{H_2} + m_{O_2}}{V_{HHO}}$$

$$\rho_{HHO} = \frac{\rho_{H_2} \cdot V_{H_2}}{V_{HHO}} + \frac{\rho_{O_2} \cdot V_{O_2}}{V_{HHO}} (\text{gr/liter})$$

di mana:

$$\rho_{HHO} = \text{massa jenis gas HHO (gr/liter)}$$

$$\rho_{H_2} = \text{massa jenis gas H}_2 (0,08238 \text{ gr/liter pada STP)}$$

$$\rho_{O_2} = \text{massa jenis O}_2 (1,334 \text{ gr/liter pada STP}).$$

### 3. Laju Aliran Fluida

$$LP = \frac{v}{t} (\text{liter/detik})$$

di mana:

$$LP = \text{laju aliran produksi gas (liter/detik)}$$

$$v = \text{volume gas (direncanakan 0,4 liter)}$$

$$t = \text{waktu (detik)}.$$

### 4. Massa Gas HHO

$$\rho = \frac{m}{v} (\text{gr/liter})$$

di mana:

$$\rho = \text{massa jenis gas (gr/liter)}.$$

$$m = \text{massa gas (gr)}.$$

$$v = \text{volume gas (liter)}.$$

### 5. Efisiensi Reaktor Las HHO

$$\eta_{\text{Gen HHO}} = \frac{\dot{m}_{HHO} \times LHV_{HHO}}{\text{daya (watt)}} \times 100 \%$$

### 6. Energi Panas Las HHO

$$Q = m \cdot LHV (\text{kJ})$$

di mana :

$Q$  = energi panas yang dibutuhkan (kJ)

$m$  = massa gas HHO (gr)

LHV = nilai kalor gas HHO (kJ/gr)

**7. Temperatur Dhasilkan Saat Pembakaran**

$Q = m \cdot C \cdot \Delta T$

$Q = m \cdot C \cdot (T_2 - T_1)$

$T_2 = \quad + T_1 (^{\circ} K)$

di mana :

$Q$  = energi panas yang dibutuhkan (kJ)

$m$  = massa gas HHO (kg)

$C$  = kalor jenis (14,4 kJ/kg <sup>0</sup> K)

$T_1$  = temperatur kamar (27 <sup>0</sup> C = 300 <sup>0</sup> K)

$T_2$  = temperatur yang dihasilkan saat pembakaran (<sup>0</sup> K).

**8. Daya Listrik**

$P = V \times I$

di mana :

$P$  = daya listrik (watt)

$V$  = tegangan listrik (volt)

$I$  = kuat arus listrik (amper)

**9. Volume Tabung Reaktor**

$v_1 = \pi \cdot r_1^2 \cdot h_1$  (mm<sup>3</sup>)

di mana :

$v_1$  = volume tabung elektrolisis (mm<sup>3</sup>).

$r_1$  = jari-jari tabung elektrolisis (mm)

$h_1$  = tinggi tabung elektrolisis (mm).

**10. Luas Penampang Plat**

$L = p \times l$  (mm<sup>2</sup>)

di mana :

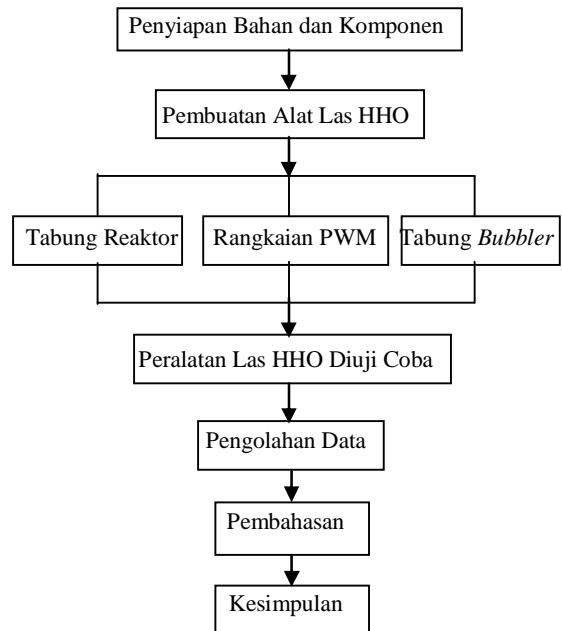
$L$  = luas penampang plat (mm<sup>2</sup>).

$p$  = panjang plat (mm).

$l$  = lebar plat (mm).

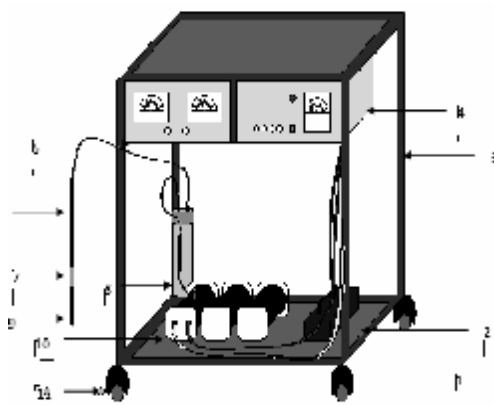
**METODOLOGI**

**Diagram Alir Penelitian**



**Peralatan Penunjang Penelitian**

**a. Mesin penunjang: las HHO**



Gambar 2. Las HHO

Keterangan gambar 2:

- |                      |                       |
|----------------------|-----------------------|
| 1. Aki               | 7. Flashback arrestor |
| 2. Kabel             | 8. Tabung Bubbler     |
| 3. Rangka            | 9. Brander las        |
| 4. PWM               | 10. Reaktor HHO       |
| 5. Indikator tekanan | 11. Roda jalan        |
| 6. Pipa saluran      |                       |

b. Peralatan penunjang lain: termometer, jangka sorong, rollmeter, pengaris dan pipa PVC

**Variabel Pengujian:**

1. Temperatur kamar ( $T_1$ ) =  $27^\circ\text{C} = 300^\circ\text{K}$ .
2. Variasi kuat arus listrik pada rangkaian PMW 50 A, 52 A, 54 A, 56 A, 58 A dan 60 A.
3. Generator HHO jenis *cell* dengan plat sejumlah 117 buah dipasang pada 3 buah reaktor. Tiap reaktor menggunakan jenis *cell* dengan plat sejumlah 37 buah.
4. Volume gas direncanakan 0,4 liter.
5. Logam pengisi (*filler metal*) yang digunakan berbentuk plat persegi panjang terbuat dari baja tahan karat 316 L dengan ukuran: tebal 0,8 mm, panjang 90 mm, dan lebar 60 mm.
6. Jenis logam induk yang dilas berbentuk plat dengan tebal yang sama sebesar 0,1 mm seperti dipaparkan pada tabel 1 di bawah ini:

Tabel 1. **Macam-macam Logam Induk**

No	Logam Induk	Kalor Jenis (J/mol <sup>o</sup> K)	Titik Cair (°K)
1	Aluminium	24,200	933
2	Kalium	3,600	707
3	Kalsium	25,929	1112
4	Magnesium	24,869	924
5	Natrium	28,070	1074

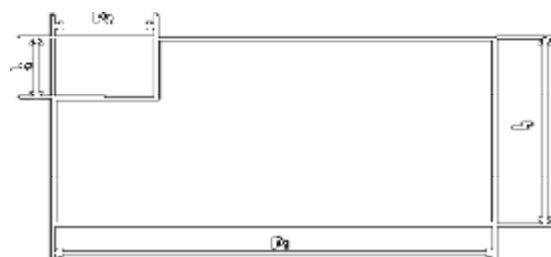
**Batasan dan Metode Pengujian**

1. Memasang 3 buah tabung reaktor secara seri pada alat las HHO dengan tujuan meningkatkan kapasitas dari gas H<sub>2</sub>.

2. Menentukan variasi arus kuat listrik pada rangkaian PMW maksimum 60 A.
3. Memasang indikator tekanan pada alat las HHO dengan tujuan untuk mengamati besarnya tekanan gas H<sub>2</sub> pada *bubbler tank* saat proses elektrolisis berlangsung.

**DATA DAN PEMBAHASAN**

**1. Luas Penampang Plat**



Gambar 3. **Penampang Plat**

Keterangan gambar 3:

$$p_1 = 95 \text{ mm}, \quad l_1 = 60 \text{ mm}$$

$$p_2 = 20 \text{ mm}, \quad l_2 = 20 \text{ mm}$$

$$L_1 = p_1 \times l_1 \\ = 95 \times 60 = 5700 \text{ mm}^2.$$

$$L_2 = p_2 \times l_2 \\ = 20 \times 20 = 400 \text{ mm}^2.$$

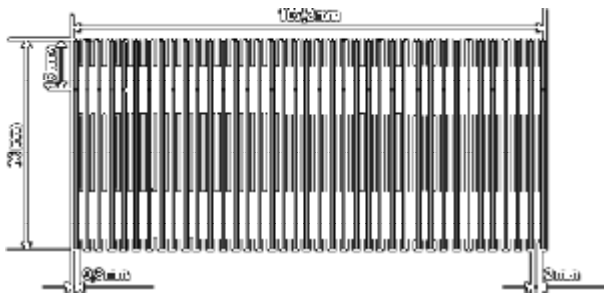
maka luas total:

$$L_t = L_1 - L_2 \\ = 5700 - 400 = 5300 \text{ mm}^2.$$

maka:

luas penampang untuk setiap plat sebesar 5.300 mm<sup>2</sup> dengan tebal plat 0,8 mm jenis baja tahan karat (*stainless steel*) 316 L (direncanakan).

## 2. Volume Plat



Gambar 4. Susunan Plat Tampak Samping

Luas total (Lt) = 5.300 mm<sup>2</sup>

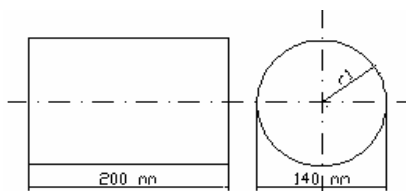
Panjang (h<sub>2</sub>) = 107,2 mm

maka:

$$\begin{aligned} \text{volume total} &= Lt \times h_2 \\ &= 5.300 \times 107,2 = 568.160 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

## 3. Volume Tabung Reaktor

$$v_1 = \pi \cdot r_1^2 \cdot t_1$$



Gambar 5. Tabung Reaktor yang Direncanakan.

Keterangan gambar 5:

d = 140 mm (diameter reaktor)

t<sub>1</sub> = 120 mm (tinggi tabung reaktor)

v<sub>1</sub> = volume tabung reaktor (mm<sup>3</sup>)

$$v_1 = 3,14 \times (70)^2 \times 200 = 307.7200 \text{ mm}^3$$

maka:

volume tabung memenuhi syarat untuk digunakan sebagai reaktor: v<sub>tabung</sub> > v<sub>air</sub> dan

v<sub>plat</sub>

## 4. Volume Air

Volume air ditentukan sebesar 50% dari volume tabung *bubbler* sehingga volume air dapat dihitung, menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} v_{\text{air}} &= 50\% v_{\text{tabung}} \\ &= \frac{50}{100} \times 565200 \text{ mm}^3 = 452160 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Jadi volume air yang ada dalam *bubbler* = 452160 mm<sup>3</sup>.

## 5. Daya Listrik

$$\begin{aligned} P &= V \times I \\ &= 12 \times 50 = 600 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Perhitungan selanjutnya dilakukan dengan rumus yang sama dan hasilnya dipaparkan pada tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Variasi Kuat Arus Listrik dan Daya Listrik

No	Variasi Kuat Arus Listrik (I)	Tegangan (Volt)	Daya Listrik (watt)
1	50	12	600
2	52	12	624
3	54	12	648
4	56	12	672
5	58	12	696
6	60	12	720

## 6. Nilai Kalor Gas HHO

$$\text{LHV}_{\text{HHO}} = \% \text{ berat gas H}_2 \times \text{LHV}_{\text{H}_2}$$

di mana: LHV = *Low Heating Value*

nilai kalor rendah gas H<sub>2</sub> = 119,93 kJ/gr

$$\% \text{ berat gas H}_2 = x \frac{4 \text{ gr}}{36 \text{ gr}} = \frac{1}{9}$$

$$\% \text{ berat gas O}_2 = x \frac{32 \text{ gr}}{36 \text{ gr}} = \frac{8}{9}$$

maka :

$$\text{LHV}_{\text{HHO}} = \frac{1}{9} \times 119,93 \text{ kJ/gr} = 13,34 \text{ kJ/gr}$$

## 7. Laju Aliran Produksi Gas HHO

$$v = 0,4 \text{ liter} ; t = 20,7 \text{ detik}$$

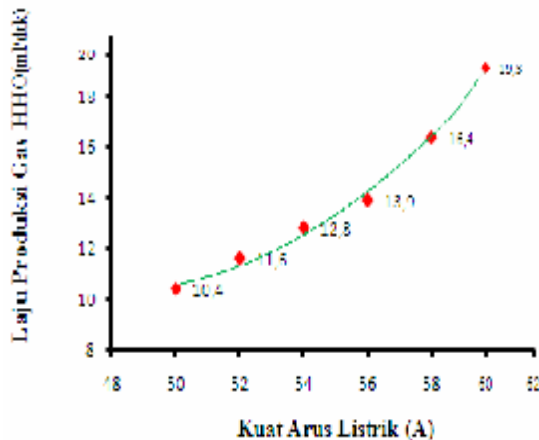
maka :

$$\begin{aligned} \text{LP} &= \frac{v}{t} \\ &= \frac{0,4 \text{ ltr}}{20,7 \text{ detik}} = 0,0193 \text{ liter/detik} \end{aligned}$$

Perhitungan selanjutnya dihitung dengan rumus yang sama dan hasilnya dipaparkan pada tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Laju Aliran Produksi Gas HHO

No	Variasi Kuat Arus Listrik (A)	Volume Gas (liter)	Waktu (dtk)	LP (liter/dtk) x 10 <sup>-3</sup>
1	50	0,4	38,4	10,4x10 <sup>-3</sup>
2	52	0,4	34,5	11,6x10 <sup>-3</sup>
3	54	0,4	31,3	12,8x10 <sup>-3</sup>
4	56	0,4	28,6	13,9x10 <sup>-3</sup>
5	58	0,4	24,4	16,4x10 <sup>-3</sup>
6	60	0,4	20,7	19,3x10 <sup>-3</sup>



Grafik 1. Hubungan Laju Aliran Produksi Gas HHO terhadap Variasi Kuat Arus Listrik

Laju aliran produksi gas HHO menyatakan besarnya perbandingan volume gas HHO dengan waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan gas HHO. Semakin besar laju aliran produksi gas HHO, maka semakin cepat waktu yang dibutuhkan untuk memenuhi volume gas, begitu pula sebaliknya. Setelah dilakukan variasi kuat arus listrik maka meningkatkan produksi gas HHO yang dihasilkan. Grafik 1 di atas menunjukkan bahwa secara umum semakin

tinggi variasi kuat arus listrik yang terpasang pada rangkaian PMW, maka laju aliran produksi gas HHO yang dihasilkan semakin tinggi, hal ini disebabkan pada pemakaian kuat arus listrik 50 A, O<sub>2</sub> yang dihasilkan semakin besar dan gas (H<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O) semakin menurun sehingga laju aliran produksi gas HHO yang dihasilkan 10,4 x 10<sup>-3</sup> liter/detik, sedangkan pada kuat arus listrik 60 A laju aliran produksi gas HHO 19,3 x 10<sup>-3</sup> liter/detik, hal ini disebabkan oleh semakin besarnya gas (H<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O) yang dihasilkan dan O<sub>2</sub> semakin menurun.

### 8. Efisiensi Reaktor HHO

$$\eta_{\text{gen HHO}} = \frac{\text{Output}}{\text{input}} \times 100\% = \frac{\dot{m}_{\text{HHO}} \times \text{LHV}_{\text{HHO}}}{\text{Daya (watt)}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_{\text{HHO}} &= \frac{V_{\text{debit}}}{t} \times \frac{11}{1000 \text{ ml}} \times \rho_{\text{HHO}} \\ &= \frac{400 \text{ ml}}{20,7 \text{ dtk}} \times \frac{11}{1000 \text{ ml}} \times 0,9937 \frac{\text{gr}}{\text{l}} \\ &= \frac{0,41}{20,7 \text{ dtk}} \times 0,9937 \frac{\text{gr}}{\text{l}} \\ &= 0,019201932 \frac{\text{gr}}{\text{dtk}} \end{aligned}$$

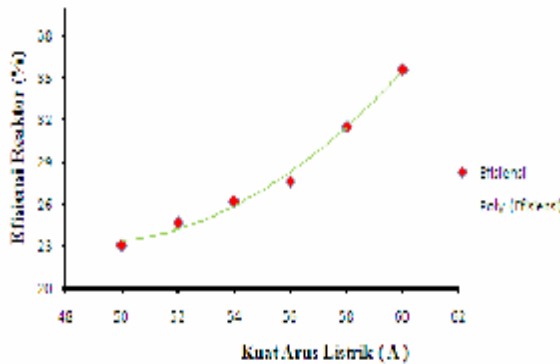
$$\begin{aligned} \eta_{\text{gen HHO}} &= \frac{\dot{m}_{\text{HHO}} \times \text{LHV}_{\text{HHO}}}{\text{Daya (watt)}} \times 100\% \\ &= \frac{0,019201932 \frac{\text{gr}}{\text{dtk}} \times 13340 \frac{\text{J}}{\text{gr}}}{720 \text{ J/dtk}} \times 100\% \\ &= 35,57\% \end{aligned}$$

Perhitungan selanjutnya dengan rumus yang sama dan hasilnya dipaparkan pada tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Efisiensi Reaktor HHO

Kuat Arus Listrik (A)	Tegangan (V)	Daya (watt)	Laju Produksi HHO (lt/dt)	LHV (kJ/gr)	HHO (gr/lt)	Efisiensi (%)
50	12	600	10,4 x 10 <sup>-3</sup>	13,34	0,9937	23,01
52	12	600	11,6 x 10 <sup>-3</sup>	13,34	0,9937	24,63
54	12	624	10,4 x 10 <sup>-3</sup>	13,34	0,9937	26,14
56	12	648	10,4 x 10 <sup>-3</sup>	13,34	0,9937	27,59
58	12	672	10,4 x 10 <sup>-3</sup>	13,34	0,9937	31,48
60	12	696	10,4 x 10 <sup>-3</sup>	13,34	0,9937	35,57

Berdasarkan tabel 3 di atas dapat dibuat grafik 2 seperti dipaparkan berikut ini.



Grafik 2. Hubungan Efisiensi Reaktor Terhadap Kuat arus Listrik.

Berdasarkan grafik 2 di atas menunjukkan bahwa, generator HHO dengan variasi arus 60 A memiliki efisiensi reaktor tertinggi sebesar 35,57%, hal ini disebabkan pengaruh kuat arus listrik semakin tinggi yang diberikan, sehingga laju aliran produksi gas semakin besar akibatnya efisiensi reaktor semakin meningkat. Pada variasi arus 50 A memiliki efisiensi reaktor paling rendah sebesar 23,01%, hal ini dipengaruhi kuat arus listrik yang rendah, sehingga laju aliran produksi gas semakin kecil akibatnya efisiensi reaktornya menjadi rendah. Reaktor HHO dengan berbagai variasi kuat arus listrik dapat dikatakan efisien apabila dengan daya listrik yang rendah dapat menghasilkan produksi gas HHO yang besar, sehingga untuk proses las HHO dapat menggunakan variasi arus kuat listrik yang memiliki efisiensi reaktor yang tinggi.

### 9. Massa Gas HHO

$$\rho_{\text{HHO}} = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho_{\text{HHO}} \cdot V$$

$$= 0,4996 \text{ gr/ltr} \cdot 0,4 \text{ ltr}$$

$$= 0,19984 \text{ gr} = 0,2 \times 10^{-3} \text{ kg.}$$

Jadi untuk massa gas HHO = 0,19984 gr =  $0,2 \times 10^{-3}$  kg.

### 10. Energi Panas Gas HHO

$$Q = m \cdot \text{LHV}$$

$$= 0,19984 \text{ gr} \cdot 13,34 \text{ kJ/gr} = 2,665 \text{ kJ.}$$

### 11. Temperatur Pembakaran Las HHO

$$Q_1 = m \cdot C \cdot \Delta T$$

$$2,665 \text{ kJ} = 0,2 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot 14,40 \text{ kJ/kg}^{\circ} \text{K} \cdot (T_2 - T_1)$$

$$(T_2 - T_1) = \frac{2,665 \text{ kJ}}{0,2 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot 14,40 \text{ kJ/kg}^{\circ} \text{K}}$$

$$T_2 = \frac{2,665 \text{ kJ}}{0,2 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot 14,40 \text{ kJ/kg}^{\circ} \text{K}} + 300^{\circ} \text{K}$$

$$= 951,78^{\circ} \text{K} + 300^{\circ} \text{K}$$

$$= 1251,78^{\circ} \text{K.}$$

maka :

temperatur panas yang dihasilkan las HHO pada *brander* sebesar  $1251,78^{\circ} \text{K}$ .

### SIMPULAN

1. Reaktor dapat meningkatkan kemampuan las HHO untuk proses pembuatan lubang dan penyambungan pada logam induk yang mempunyai temperatur di bawah  $1200^{\circ} \text{K}$ .
2. Kuat arus listrik maksimum 60 A dapat meningkatkan jumlah laju aliran gas HHO, sehingga efisiensi reaktor dapat mencapai sebesar 35,57 %.
3. Alat ukur tekanan las gas HHO (*pressure gauge*) pada tabung *bubbler*, dapat mengamati tekanan yang terjadi pada saat elektrolisis berlangsung, sehingga terjadinya tekanan balik (*flashback*) dapat dicegah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Culp A.W. 1996. **Prinsip-prinsip Konversi Energi**. Penerbit Erlangga: Jakarta.
- Gieck K, 2003. **Kumpulan Rumus Teknik**, Penerbit PT. Pradnya Paramita: Jakarta.
- Hidayatullah P. 2008. **Brown Energi (Rahasia Bahan Bakar Air)**, Ufuk Press, Jakarta.
- Sastrohamidjojo H 2005. **Kimia Dasar** (Edisi ke-2), Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Sumantra I Ketut. 1997. **Buku Pintar Fisika**, Surabaya Intellectual Club, Surabaya.