

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Perhitungan

Tujuan dari perhitungan yang dilakukan ini adalah untuk mengetahui besarnya nilai dari karakteristik setiap komponen unjuk kerja generator gas HHO. Data perhitungan yang digunakan diambil dari data pengujian Generator gas HHO sistem basa (*Wet cell*) dengan larutan elektrolit 10 gram KOH/ liter Aquades.

#### 1. Data pengujian

- a. Arus listrik (I) = 29 A
- b. Tegangan listrik (V) = 10.01 V
- c. Waktu Produksi Gas (t) = 15 detik
- d. Volume gas terukur (V) = 250 liter

#### 2. Properties Gas HHO

- a. Massa Jenis Gas HHO = 0,491167 kg/m<sup>3</sup>
- b. Temperatur Gas HHO = 25°C = 298 K
- c. Tekanan Gas HHO (P) = 1 atm
- d. Konstanta Gas Universal (R) = 0,08206 L.atm/mol .K
- e. Nilai energi entalpi (h) untuk penguraian gas H<sub>2</sub>O pada kondisi gas ideal,  
STP:  $\Delta h = +285,84 \times 10^3 \text{ J/mol}$

Reaksi endoterm yang menghasilkan energi entalpi yang bernilai positif.

#### 4.1.1. Daya yang dibutuhkan Generator Gas HHO

Rumus untuk menghitung konsumsi daya listrik yang digunakan oleh generator gas HHO adalah:

$$\begin{aligned} P &= V \times I \\ &= 10.01 \text{ V} \times 29 \text{ A} \\ &= 290.29 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Jadi, Daya yang dibutuhkan untuk memproduksi gas HHO sebanyak 250cc adalah 290.29 Watt

#### 4.1.2. Laju Produksi Gas HHO

Laju produksi gas HHO dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$m = Q \times \rho_{\text{HHO}}$$

Dimana:

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{0.25 \text{ liter}}{15 \text{ detik} \times \frac{\text{menit}}{60 \text{ detik}}} = 1 \text{ L/menit}$$

Maka :

$$\begin{aligned} m &= Q \times \rho_{\text{HHO}} \\ &= 1 \text{ L/menit} \times 0.491167 \text{ kg}/(\text{m}^3 \times 1000 \text{ L}/\text{m}^3) \\ &= 4.91167 \times 10^{-4} \text{ kg/menit} \\ &= 0.491167 \text{ gram/menit} \end{aligned}$$

#### 4.1.3. Spesifik Gas Production Generator HHO (SGP)

Nilai dari spesifik gas production pada generator gas HHO ini dapat dirumuskan :

$$SGP = \frac{\text{LajuProduksiGasHHO}}{\text{kerja yang dilakukan per satuan waktu (daya)}}$$

$$SGP = \frac{m}{P}$$

$$SGP = \frac{4.91167 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{menit}} \times \frac{\text{menit}}{60 \text{ detik}}}{290.2 \text{ Watt}} = 2.82 \times 10^{-8} \frac{\text{kg}}{\text{J}}$$

Jadi, produksi gas spesifik yang dihasilkan adalah :  $2.82 \times 10^{-8} \frac{\text{kg}}{\text{J}}$

#### 4.2.4. Efisiensi Generator Gas HHO

Effisiensi Generator HHO dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\text{Energi yang digunakan untuk elektrolisa}}{\text{Energi yang digunakan untuk elektrolisa}} \times 100\% \\ &= \frac{\Delta h \times n}{(V \times I)} \times 100\% \end{aligned}$$

Dimana :

$\Delta h$  = Energi entalpi yang dihasilkan (J/mol)

$V$  = Volume per detik (Liter/s)

$n$  = Molaritas senyawa per waktu (mol/s)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

1. Energi yang digunakan untuk elektrolisa (output)

$$\begin{aligned} \text{Daya (P)} &= V \times I \\ &= 10.01 \text{ V} \times 29 \text{ A} \\ &= 290.29 \text{ Watt} = 290.29 \text{ J/s} \end{aligned}$$

2. Energi yang dibutuhkan generator untuk menghasilkan gas HHO (input) Untuk mencari nilai  $n$ , menggunakan rumus gas ideal:  $P \times V = n \times R \times T$  (Nilai volume dan mol adalah per satuan waktu untuk menyamakan energi yang digunakan per satuan waktu).

Dimana :

P = Tekanan gas ideal (atm)

V = Volume gas terukur (L)

n = Molaritas senyawa (mol)

R = Konstanta Gas universal (L.atm/mol.K)

T = Temperatur, (327oK)

$$\begin{aligned} n &= \frac{P \times V}{R \times T} = \frac{1 \text{ atm} \times \left(\frac{0.25 \text{ L}}{15 \text{ dtk}}\right)}{0,08206 \frac{\text{L.atm}}{\text{mol.K}} \times 298\text{oK}} \\ &= 6.8155 \times 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Sehingga energi yang dibutuhkan generator untuk menghasilkan gas HHO adalah:

$$\begin{aligned} \Delta h_f \times n &= 285,84 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{mol}} \times 6.8155 \times 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{s}} \\ &= 194.814 \frac{\text{J}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Maka, Efisiensi yang didapatkan :

$$\eta_{\text{Gen}} = \frac{\Delta h \times n}{(V \times I)} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{Gen}} = \frac{194.814 \text{ J/s}}{290.29 \text{ Watt}} \times 100\%$$

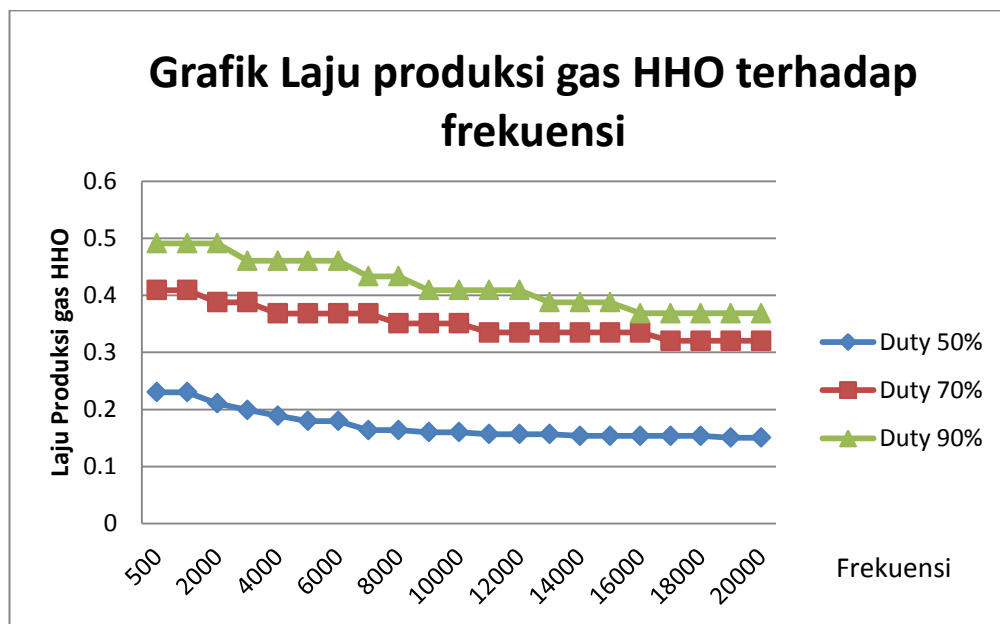
$$\eta_{\text{Gen}} = 67.11 \%$$

Data hasil pengujian dan perhitungan disajikan dalam bentuk tabel pada lampiran A dan lampiran B.

## 4.2. Analisa Data Perhitungan Generator Gas HHO

### 4.2.1. Laju Produksi Produksi Gas HHO yang dihasilkan

Hasil laju produksi gas HHO terhadap frekuensi dengan waktu pengujian 30 menit disajikan pada Grafik 4.1



Gambar 4.1 Grafik Laju produksi gas HHO terhadap frekuensi dengan waktu pengujian 30 menit

Elektrolisa air pada generator HHO tipe basa (*wet cell*) dengan konsentrasi larutan elektrolit yang digunakan 20 gram KOH/2 liter Aquades. Generator gas HHO tipe basa (*wet cell*) produk utamanya ialah gas  $H_2$  dan gas  $O_2$  atau dapat dituliskan sebagai gas HHO. semua data yang tertulis dalam grafik adalah gas HHO, artinya terdiri dari gas  $H_2$  dan gas  $O_2$ , sehingga untuk mengetahui seberapa banyak gas HHO yang dihasilkan oleh generator HHO tipe basa (*wet cell*) tersebut dapat dilihat dari laju produksi gas yang di hasilkan. Dari gambar 4.1 terlihat laju produksi terhadap frekuensi dengan waktu pengujian 30 menit menunjukkan adanya penurunan laju produksi gas HHO seiring dengan bertambahnya frekuensi pada generator gas HHO. Penurunan laju produksi gas HHO dari sistem generaor HHO tipe basa (*wet cell*) menggunakan rangkaian PWM. Dimana laju

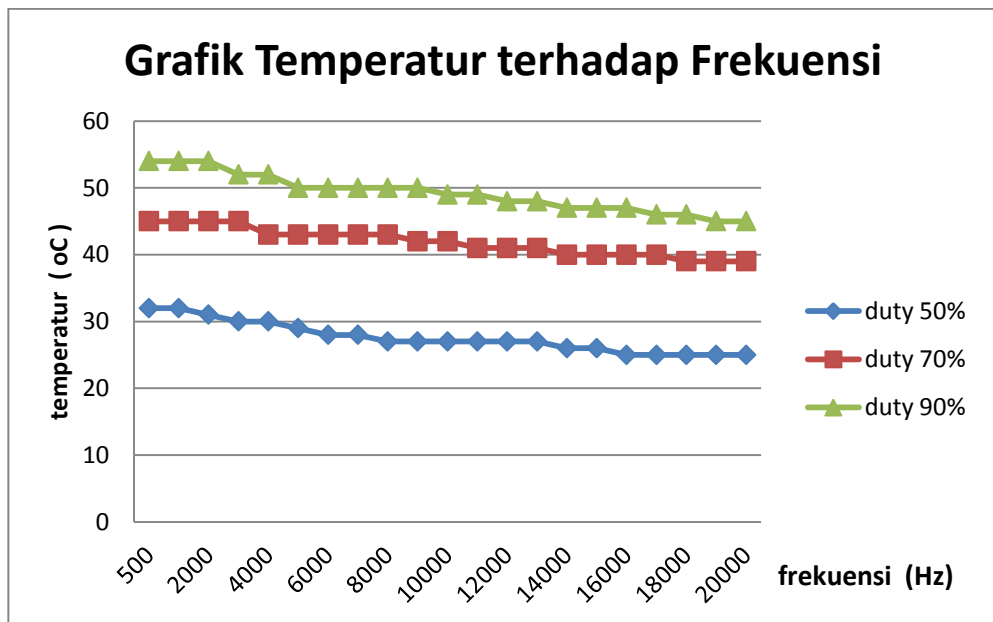
produksi gas HHO yang semakin menurun karena frekuensi pada generator gas HHO meningkat sehingga arus menurun. Hal ini dikarenakan Pada frekuensi 500 Hz pulsa on-off arus DC lebih sedikit persatuan waktunya atau bila diartikan ada 500 pulsa on – off dalam 1 detik berbeda bila dibandingkan dengan 20.000 Hz. Dengan pulsa yang lebih sedikit ini lebar pulsa on arus DC yang diatur lebih lebar bila dibandingkan dengan frekuensi 20.000 Hz sehingga lebih lebarnya pulsa on pada frekuensi 500 Hz menyebabkan arus yang dikontrol lebih besar dibandingkan dengan frekuensi 20.000 Hz artinya semakin bertambah nilai frekuensi maka semakin menurun arus yang menuju generator gas HHO serta di ikuti dengan menurunnya daya yang menuju generator gas HHO Sehingga terjadi penurunan laju produksi gas HHO. Laju produksi gas HHO yang menurun dipengaruhi oleh nilai debit (Q) gas HHO yang menurun sedangkan nilai debit (Q) dipengaruhi oleh nilai oleh waktu (detik) produksi gas HHO per250cc.

Dari gambar 4.1 terlihat laju produksi gas HHO paling tinggi dihasilkan pada duty cycle 90% dengan frekuensi 500 Hz didapat nilai laju produksi gas HHO sebesar 0.49117 gr/menit sedangkan pada frekuensi 20.000 Hz didapat nilai laju produksi gas HHO sebesar 0.36838 gr/menit. Pada *duty cycle* 70% dengan frekuensi 500 Hz didapat nilai laju produksi gas HHO sebesar 0.40930 gr/menit sedangkan pada frekuensi 20.000 Hz didapat nilai laju produksi gas HHO sebesar 0.32032 gr/menit, Pada *duty cycle* 50% dengan frekuensi 500 Hz didapat nilai laju produksi gas HHO sebesar 0.23023 gr/menit sedangkan pada frekuensi 20.000 Hz didapat nilai laju produksi gas HHO sebesar 0.15036 gr/menit, hal ini dikarenakan laju produksi ( $m$ ) gas HHO di pengaruhi oleh nilai debit (Q) gas HHO apabila nilai debit (Q) gas HHO naik maka waktu (detik) produksi gas HHO per250cc akan menuruh sedangkan waktu (detik) di pengaruhi oleh daya (watt) yang dibutuhkan dalam produksi gas HHO sedangkan daya (watt) berbanding lurus dengan *duty cycle* artinya semakin bertambah nilai *duty cycle* maka semakin bertambah pula nilai daya (watt) karena pola *duty cycle* yang tidak mengalirkan arus dan tegangan penuh secara terus menerus

namun putus-putus (on-off) dan tetap kontinyu. Hal ini yang menyebabkan frekuensi dan *duty cycle* mempengaruhi laju produksi ( $m$ ).

#### 4.2.2. Temperatur Elektrolit pada generator gas HHO

Hasil temperatur terhadap frekuensi dengan waktu pengujian 30menit disajikan pada Grafik 4.2



Gambar 4.2 temperatur terhadap frekuensi dengan waktu pengujian 30 menit

Pada *duty cycle* 50% temperature antara 25oC – 32oC dengan waktu pengujian 30 menit. Pada *duty cycle* 50% temeperatur terendah pada frekuensi 16.000-20.000 Hz dengan nilai temperature 25oC, pada frekuensi 8.000-15.000 Hz dengan nilai temperature 27oC, dan pada frekuensi 500-8.000 Hz dengan nilai temperature 32oC.

Pada *duty cycle* 70% temperature antara 39oC–45oC dengan waktu pengujian 30 menit. Pada *duty cycle* 70% temeperatur terendah pada frekuensi 18.000-20.000 Hz dengan nilai temperature 39oC. Pada *duty cycle* 70% temeperatur terendah pada frekuensi 14.000-17.000 Hz dengan nilai temperature 40oC. Pada *duty cycle* 70% temeperatur terendah pada

frekuensi 9.000-13.000 Hz dengan nilai temperature 42 oC. Pada *duty cycle* 70% temeperatur terendah pada frekuensi 4.000-8.000 Hz dengan nilai temperature 43oC Pada *duty cycle* 70% temeperatur terendah pada frekuensi 500-3000 Hz dengan nilai temperature 45oC.

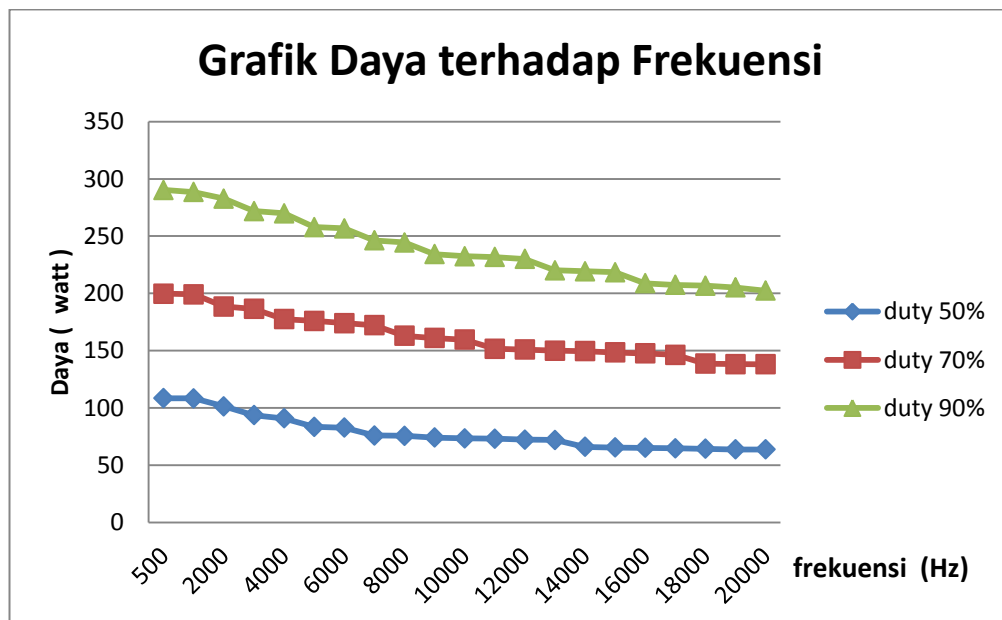
Pada *duty cycle* 90% temperature dikisaran temperature 45oC – 54oC dengan waktu pengujian 30 menit. Pada *duty cycle* 90% temeperatur terendah pada frekuensi 19.000-20.000 Hz dengan nilai temperature 45oC. Pada *duty cycle* 90% temeperatur pada frekuensi 17.000-18.000 Hz dengan nilai temperature 46oC. Pada *duty cycle* 90% temperatur pada frekuensi 14.000-16.000 Hz dengan nilai temperatur 47oC. Pada *duty cycle* 90% temperatur pada frekuensi 12.000-13.000 Hz dengan nilai temperature 48oC. Pada *duty cycle* 90% temeperatur pada frekuensi 10.000-11.000 Hz dengan nilai temperatur 49oC. Pada *duty cycle* 90% temeperatur pada frekuensi 5.000-9.000 Hz dengan nilai temperature 50oC. Pada *duty cycle* 90% temeperatur pada frekuensi 3.000-4.000 Hz dengan nilai temperature 52oC. Pada *duty cycle* 90% temeperatur pada frekuensi 500-2000 Hz dengan nilai temperature 54oC.

Dari gambar 4.2 Grafik temperatur terhadap frekuensi dengan waktu pengujian 30 menit menunjukkan nilai temperatur yang menurun seiring bertambahnya frekuensi. Hal ini dikarenakan pada frekuensi 500 Hz pulsa on–off arus DC lebih sedikit persatuan waktunya atau bila diartikan ada 500 pulsa on–off dalam 1 detik berbeda bila dibandingkan dengan 20.000 Hz. Dengan pulsa yang lebih sedikit ini lebar pulsa on arus DC yang diatur lebih lebar bila dibandingkan dengan frekuensi 20.000 Hz sehingga lebih lebarnya pulsa on pada frekuensi 500 Hz menyebabkan arus yang dikontrol lebih besar dibandingkan dengan frekuensi 20.000 Hz artinya semakin bertambah nilai frekuensi maka semakin menurun arus yang menuju generator gas HHO serta di ikuti dengan menurunnya daya yang menuju generator gas HHO Sehinga terjadi penurunan temperature elektrolit generator gas HHO. Sedangkan pada pengujian unjuk kerja generator HHO tipe basa (*wet cell*) dengan menggunakan PWM dengan

variasi *duty cycle* menunjukkan kenaikan arus yang cukup signifikan pada *duty cycle* 50%, *duty cycle* 70%, dan *duty cycle* 90% hal ini dikarenakan semakin besar nilai *duty cycle* maka semakin lebar pula pulsa on-off pada gelombang PWM artinya semakin besar arus yang menuju generator gas HHO sehingga semakin tinggi temperatur elektrolit generator gas HHO.

#### 4.2.3. Daya yang Dibutuhkan Generator gas HHO

Hasil Daya terhadap frekuensi dengan waktu pengujian 30 menit disajikan pada Grafik 4.3



Gambar 4.3 Grafik Daya terhadap frekuensi dengan waktu pengujian 30 menit

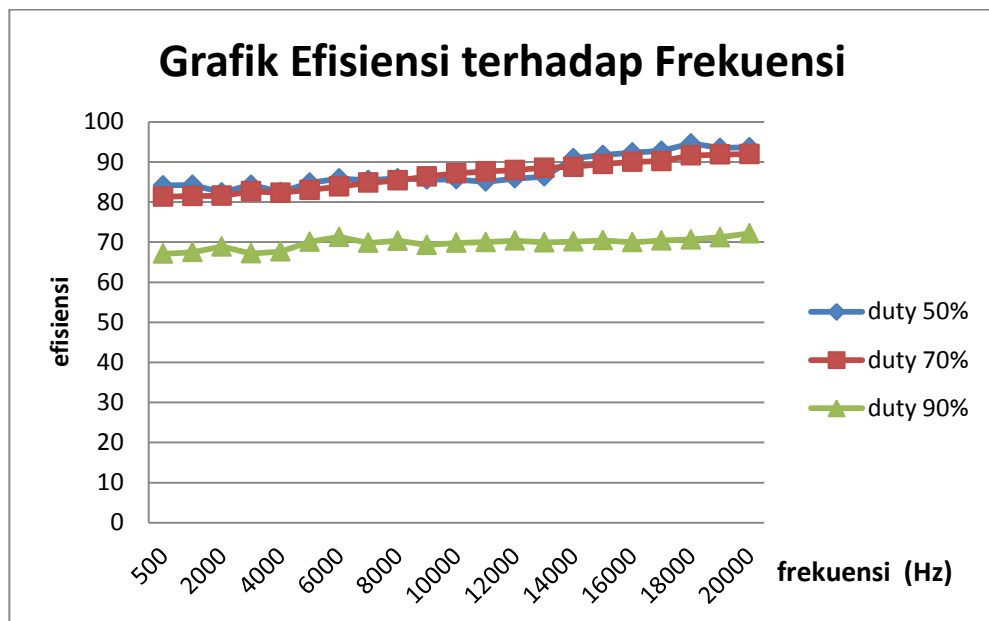
Daya yang paling besar terdapat pada pengujian *duty cycle* 90% dengan frekuensi 500 Hz sebesar 290.29 watt dan dari pengujian dengan frekuensi 20.000 Hz dan *duty cycle* 70% didapat nilai daya terkecil 199.68 watt. sedangkan *duty cycle* 50% dengan frekuensi 20.000 Hz didapat nilai daya terkecil 63,69 watt. Dari gambar 4.3 memperlihatkan grafik daya yang terus turun untuk semua variasi frekuensi pada pengujian generator HHO. Hal ini dikarenakan pada frekuensi 500 Hz pulsa on-off arus DC lebih



sedikit persatuan waktunya atau bila diartikan ada 500 pulsa on-off dalam 1 detik berbeda bila dibandingkan dengan 20.000 Hz. Dengan pulsa yang lebih sedikit ini lebar pulsa on arus DC yang diatur lebih lebar bila dibandingkan dengan frekuensi 20.000 Hz sehingga lebih lebarnya pulsa on pada frekuensi 500 Hz menyebabkan arus yang dikontrol lebih besar dibandingkan dengan frekuensi 20.000 Hz artinya semakin bertambah nilai frekuensi maka semakin menurun arus yang menuju generator gas HHO serta di ikuti dengan menurunnya daya yang menuju generator gas HHO Hal ini menunjukkan bahwa konsumsi daya generator HHO pada pengujian, untuk variasi frekuensi semakin menurun seiring bertambahnya frekuensi.

#### 4.2.4. Efisiensi Generator Gas HHO

Hasil Daya terhadap frekuensi dengan waktu pengujian 30 menit disajikan pada Grafik 4.4



Gambar 4.4 Grafik Efisiensi terhadap frekuensi dengan waktu pengujian 30 menit

Dari gambar 4.4 menunjukkan bahwa efisiensi dari generator mengalami kenaikan baik pada *duty cycle* 50% dengan nilai efisiensi

84.14% ke 93.63%, pada *duty cycle* 70% dengan nilai efisiensi dari 81.30% ke 91.98%, dan untuk *duty cycle* 90% nilai efisiensi dari 67.11% ke 72.18%. Pada *duty cycle* 50% dan *duty cycle* 70% terjadi kenaikan efisiensi yang sangat signifikan, hal ini disebabkan karena terjadi penurunan arus yang masuk pada generator HHO yang cukup besar sehingga konsumsi daya semakin kecil yang menyebabkan energi untuk menghasilkan gas HHO tidak terbuang begitu saja melalui panas akibat kenaikan temperatur. begitu juga pada *duty cycle* 90% juga terjadi kenaikan efisiensi tetapi kenaikan efisiensinya tidak terlalu signifikan, hal ini disebabkan karena waktu produksi gas yang dihasilkan cukup besar diiringi dengan kenaikan temperature dan arus yang signifikan sehingga mempengaruhi produksi gas HHO. Sedangkan pada frekuensi 20.000 Hz dengan *duty cycle* 50% memiliki efisiensi tertinggi dengan efisiensi 93.63 % sehingga pemanfaatan energi input untuk memproduksi gas HHO lebih optimal karena arus listrik yang mengalir melalui elektroda semakin kecil seiring bertambahnya frekuensi akibatnya dayapun semakin kecil, sehingga mengakibatkan penurunan temperatur elektrolit didalam generator HHO. Pada frekuensi 500 Hz dengan *duty cycle* 90% memiliki efisiensi terendah dengan efisiensi 67.11% dikarenakan pemanfaatan energi input untuk memproduksi gas HHO tidak terlalu optimal karena arus yang digunakan untuk proses elektrolisa begitu besar sehingga menghasilkan panas yang terus meningkat menyebabkan penurunan efisiensi pada generator gas HHO.

Pada pengujian dengan *duty cycle* 50% dan frekuensi 20.000 Hz dibutuhkan daya sebesar 63,69 watt sedangkan dengan *duty cycle* 50% dan frekuensi 500 Hz daya yang dibutuhkan 108.48 watt sehingga pada pengujian dengan frekuensi 500 Hz effisiensinya lebih rendah dibandingkan dengan frekuensi 20.000 Hz. Hal ini dikarenakan pengujian dengan frekuensi 500 Hz membutuhkan daya yang lebih besar dibanding dengan 20.000 Hz. Hal ini sama halnya dengan *duty cycle* 70% Sedangkan untuk *duty cycle* 90% perbedaan nilai dari efisiensi tidak signifikan bila dibandingkan antara frekuensi 500 Hz dan 20.000 Hz, ini disebabkan untuk

*duty cycle* yang besar waktu off arus DC menjadi lebih kecil sehingga perbedaan frekuensi tidak terlalu berpengaruh terhadap arus listrik yang dihasilkan antara frekuensi 500 Hz sampai 20.000 Hz. Pada pengujian dengan *duty cycle* 50% dan 70% nilai dari efisiensinya stabil dikarenakan arus yang terkontrol oleh PWM lebih stabil dibandingkan dengan *duty cycle* 90% sehingga produksi gas HHO relatif konstan, dimana bila produksinya yang relatif konstan maka berpengaruh terhadap debit gas HHO yang di produksi oleh generator gas HHO. Dengan perbedaan frekuensi pada saat pengujian maka akan didapat nilai efisiensi yang berbeda pula, dimana nilai efisiensi sangat dipengaruhi terhadap nilai Molaritas senyawa per waktu ( $n$ ), nilai dari Molaritas senyawa per waktu ( $n$ ), ditentukan besarnya dari debit ( $Q$ ) produksi gas HHO. Dengan frekuensi 500 Hz arus listrik yang digunakan untuk proses elektrolisa lebih besar sehingga menaikkan debit produksi gas HHO, bila debit gas HHO meningkat maka Molaritas senyawa per waktu ( $n$ ) akan ikut naik. nilai Molaritas senyawa per waktu ( $n$ ) berbanding terbalik dengan nilai Daya (watt) sehingga nilai efisiensi generator gas HHO didapat dari pembangian antara nilai Molaritas senyawa per waktu ( $n$ ) dengan nilai Daya (watt). Hal ini yang menyebabkan mengapa nilai efisiensi generator gas HHO pada pengujian frekuensi 500 Hz lebih rendah dibandingkan dengan pengujian frekuensi 20.000 Hz karena terjadi kenaikan arus yang masuk pada generator HHO yang cukup besar sehingga konsumsi daya (watt) semakin besar yang menyebabkan energi untuk menghasilkan gas HHO terbuang begitu saja melalui panas akibat kenaikan temperatur sehingga mempengaruhi debit ( $Q$ ), Molaritas senyawa per waktu ( $n$ ) dan efisiensi generator gas HHO.