



## PENGARUH PENGGUNAAN VARIASI FREKUENSI DAN DUTY CYCLE TERHADAP LAJU PRODUKSI GAS HHO PADA GENERATOR GAS HHO TIPE BASA (WET CELL)

Ahmad Mufrodi  
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta  
Jurusan Teknik Elektro  
e-mail: madmufrodi@gmail.com

Intisai

Energi menjadi salah satu hal penting bagi kelangsungan hidup manusia, karena hampir semua kebutuhan hidup manusia sangat bergantung pada ketersediaan energi yang cukup. Beberapa tahun kedepan, manusia akan tetap bergantung pada sumber energi fosil, hal itu dikarenakan sumber energi fosil yang mampu memenuhi kebutuhan manusia dalam skala besar, sedangkan sumber energi alternatif atau *renewable energy* belum dapat memenuhi kebutuhan energi manusia dalam skala besar. Dilain pihak, manusia dihadapkan pada situasi menipisnya cadangan sumber energi, meningkatnya kerusakan lingkungan akibat penggunaan energi fosil dan harga energi fosil yang mahal bagi kalangan menengah kebawah khusus para nelayan di daerah pesisir. Melihat kondisi tersebut maka saat ini diperlukan penelitian yang intensif untuk mencari, mengoptimalkan dan menggunakan sumber energi alternative. Air dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif dikarenakan kandungan air terdiri dari struktur kimia  $H_2O$  dan jika dipisahkan melalui proses elektrolisis menjadi  $H_2$  dan  $O_2$ . Proses elektrolisis air merupakan salah satu cara untuk memisah kandungan  $H_2$  dan  $O_2$  dari air atau hasil gas dari proses elektrolisis ini lebih dikenal dengan istilah gas HHO. Atas dasar latar belakang inilah, maka dilakukan penelitian mengenai pengaruh penggunaan variasi frekuensi dan *duty cycle* terhadap laju produksi gas HHO pada generator gas HHO tipe basa (*wet cell*). Studi yang dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental untuk mengetahui pengaruh variasi frekuensi dan *duty cycle* terhadap performa generator HHO tipe basa (*wet cell*) dengan menggunakan elektroda tipe spiral cell serta larutan elektrolit 10 gr/liter aquades. *Duty cycle* yang digunakan ialah *duty cycle* 50%, *duty cycle* 70%, dan *duty cycle* 90% dan frekuensi yang digunakan 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 3000 Hz, 4000 Hz, 5000 Hz, 6000 Hz, 7000 Hz, 8000 Hz, 9000 Hz, 10.000 Hz, 11.000 Hz, 12.000 Hz, 13.000 Hz, 14.000 Hz, 15.000 Hz, 1000 Hz, 17.000 Hz, 18.00 Hz, 19.000 Hz, dan 20.000 Hz. Adapun Parameter pada penelitian ini meliputi pengambilan data terhadap tegangan pada generator gas HHO, arus pada generator gas HHO, temperature pada generator gas HHO, dan waktu produki gas per 250cc, Laju produksi gas HHO tertinggi dihasilkan pada *duty cycle* 90% dengan frekuensi 500 Hz dengan nilai laju produksi gas HHO sebesar 0.49117 gr/menit sedangkan 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 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 frekuensi 20.000 Hz didapat nilai laju produksi gas HHO sebesar 0.15036 gr/menit. Pada frekuensi 20.000 Hz dengan *duty cycle* 50% efisiensi tertinggi dengan nilai 93.63 %. Pada frekuensi 500 Hz dengan *duty cycle* 90% memiliki efisiensi terendah dengan nilai efisiensi 67.11%.

**Kata kunci:** Air, Elektrolisi, Frekuensi, *Duty cycle*, Gas HHO.

## PENDAHULUAN

Energi menjadi salah satu hal penting bagi kelangsungan hidup manusia, karena hampir semua kebutuhan hidup manusia sangat bergantung pada ketersediaan energi yang cukup. Beberapa tahun kedepan, manusia akan tetap bergantung pada sumber energi fosil, hal itu dikarenakan sumber energi fosil inilah yang mampu memenuhi kebutuhan manusia dalam skala besar, sedangkan sumber energi alternatif atau *renewable energy* belum dapat memenuhi kebutuhan energi manusia dalam skala besar, karena fluktuasi potensi dan tingkat keekonomian yang belum bisa bersaing dengan energi konvensional.

Hidrogen adalah unsur yang paling melimpah dengan presentase kira-kira 75% dari total masa unsur alam semesta, jadi hidrogen sangatlah berpeluang untuk menggantikan energi fosil pada masa depan. Di Indonesia khususnya, yang notabene bahan bakar fosil yang terbilang mahal dan emisinya merusak lingkungan. Melalui persamaan berikut ini  $2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l) + 572 \text{ kJ}$  (286 kJ/mol),

gas hidrogen akan terbakar dengan konsentrasi serendah 4% hidrogen di udara bebas, maka gas hidrogen dapat di manfaatkan sebagai pengganti energi fosil masa depan, serta lebih efisien. Suplay energi yang di hasilkan sangat bersih karena hanya menghasilkan uap air sebagai emisi selama berlangsungnya proses.

## METODE PENELITIAN

Studi yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk mengetahui pengaruh frekuensi dan *duty cycle* terhadap performa generator HHO tipe basa (*wet cell*). Variasi *duty cycle* yang digunakan ialah *duty cycle* 50%, *duty cycle* 70%, dan *duty cycle* 90% serta variasi frekuensi yang digunakan 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 3000 Hz, 4000 Hz, 5000 Hz, 6000 Hz, 7000 Hz, 8000 Hz, 9000 Hz, 10.000 Hz, 11.000 Hz, 12.000 Hz, 13.000 Hz, 14.000 Hz, 15.000 Hz, 1000 Hz, 17.000 Hz, 18.00 Hz, 19.000 Hz, dan 20.000 Hz.

## Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini secara umum meliputi identifikasi masalah, analisa masalah, Perancangan dan pembuatan generator HHO tipe basa (*wet cell*), *water trap*, dan bejana ukur gas HHO. perancangan dan



pembuatan generator pembangkit gelombang PWM berbasis arduino nano. Pengujian generator HHO tipe basa (*wet cell*) terhadap kebocoran gas HHO, Pengujian generator pembangkit gelombang PWM terhadap bentuk gelombang, *duty cycle*, frekuensi dan tegangan. Pengujian performa dari gelombang PWM yang diaplikasikan pada generator HHO Tipe basa (*wet cell*) jika terjadi masalah maka di lakukan modifikasi dan jika tidak maka di lakukan pengambilan data terhadap tegangan yang dibutuhkan generator HHO, arus yang dibutuhkan generator HHO, dan waktu produksi gas HHO per250cc serta temperatur elektrolit generator HHO. lalu di lakukan pengambilan data serta perhitungan gas HHO terhadap daya yang dibutuhkan untuk produksi gas pada generator HHO tipe basa (*wet cell*), laju produksi gas HHO, dan efisiensi generator HHO serta pembuatan laporan.

### Identifikasi dan Analisis Masalah

Kegiatan awal dari proses perancangan yaitu menentukan tema dari rancangan yang akan dibuat berdasarkan permasalahan-permasalahan yang ada. Permasalahan yang menjadi latar belakang Sebelumnya. penggunaan generator HHO tipe basa (*wet cell*) dengan menggunakan gelombang tipe PWM digital dengan frekuensi yang di tentukan serta *duty cycle* yang bervariasi maka akan di analisis hasil laju produksi gas HHO. Generator HHO tipe basa (*wet cell*) memiliki tingkat efisiensi yang lebih rendah dibandingkan dengan generator HHO tipe kering (*dry cell*)

dikarenakan oleh panas yang tinggi yang terjadi pada generator HHO tipe basa (*wet cell*) tapi generator tipe basah (*wet cell*) mempunyai ke unggulan yaitu hasil produksi gas HHO lebih tinggi di banding dengan tipe kering (*dry cell*). Bila generat HHO tipe basa (*wet cell*) diberikan gelombang PWM maka akan menghasilkan efisiensi yang paling baik dibandingkan dengan penggunaan generator HHO tipe kering (*dry cell*).

Selain itu. pada umumnya generator HHO tipe basa (*wet cell*) menggunakan sel spiral dapat menghasilkan efisiensi produksi gas yang lebih tinggi dari pada sel datar maupun *tube cell* sehingga diperlukan desain sel spiral dengan panjang kawat stenlis 40 cm dan diameter kawat 2 mm. Pada generator HHO menggunakan tegangan 12 Volt 50 Ah dari baterai atau aki serta swiching power suplay sebagai penstabil tegangan pada baterai.

### Perancangan Generator HHO

Pada penelitian ini. hal yang perlu dirancang adalah bagian generator HHO dan bagian generator PWM. Generator HHO yang akan digunakan merupakan tipe sel basa (*wet cell*). Dengan menggunakan sel spiral dengan panjang 40 cm dirangkai secara parallel dan menggunakan sumber tegangan dari aki 12 volt 50 Ah. Jenis elektrolit yang digunakan pada generator ini adalah air aquades ditambah serbuk KOH sebagai katalis. Arus yang dapat mengalir pada generator HHO ini adalah sekitar 10 sampai 30 Ampere. Selanjutnya gas HHO ini dapat dialirkan dari *water trap*



menuju ke ruang bakar ataupun bejana pengukur debit maupun *flowmeter*.

### Generator HHO

Dalam rangka untuk memenuhi percobaan, generator HHO ini terdiri dari 2 buah elektroda positif dan 2 buah elektroda negatif yang terdiri kawat spiral dan sel elektrolisis yang disusun secara parallel dengan pembatas sebuah akrilik di tempatkan di dalam tabung PVC dengan ukuran 4". Sumber tegangan yang digunakan adalah berasal dari aki 12 volt 50Ah agar tegangan stabil aki akan di bantu dengan *swiching power suplay* 13.8 volt 30 Amp

#### 1. Tabung generator sel basa (*wet cell*)

Tabung yang digunakan menggunakan PVC karena tahan dengan larutan basah khususnya KOH. Tabung sel basa (*wet cell*) menggunakan PVC berukuran 4" dengan panjang 20 cm dan menggunakan dop PVC ukuran 4" berjumlah 2 buah. Dari total keseluruhan tabung sel basa (*wet cell*) berjumlah 1 buah dan pvc 1/2" dengan bentuk L dan T untuk penghubung tabung generator cell basa ke *flowmeter* dan *water trap*.



Gambar 3.2 Tabung generator sel basa (*wet cell*)

#### 1. Napel

Napel yang digunakan sebanyak 1 buah digunakan untuk output gas HHO. Napel yang digunakan berasal dari bahan kuningan dengan ukuran 1/4 tube, drat 1/2".



Gambar 3.3 Napel

#### 2. Elektroda sel Spiral generator HHO

Elektroda yang digunakan terbuat dari material yang tahan korosi dan memiliki konduktifitas listrik yang baik seperti *stainless steel* 201. Jenis kawat ini digunakan karena mampu meredam korosi yang terjadi karena asam maupun basa. Diameter kawat yang digunakan adalah 2 mm dan panjang 40 cm dan di susun secara parallel. Pada sel elektrolisis kawat di bentuk spiral. Pemisahan elektroda positif dan negatif digunakan akrilik yang berguna untuk memisahkan antara kawat positif dan negatif. namun terdapat tambahan untuk menyambungkan elektroda dengan baut *stainless steel* menuju generator.



Gambar 3.4 sel spiral

### 3. Water Trap

Generator HHO selain menghasilkan gas HHO juga menghasilkan uap air. Uap air ini dihasilkan karena panas dari generator saat terjadi reaksi elektrolisis. Oleh karena itu dibutuhkan alat namanya *water trap* berfungsi untuk menangkap uap air yang dihasilkan generator HHO.

### Perancangan generator PWM

Generator PWM dibangkitkan dengan menggunakan mikrokontrol arduino nano. Jenis pembangkit gelombang yang digunakan adalah tipe variabel frekuensi dan *duty cycle* sehingga mudah dalam pengaturan perubahan frekuensi maupun *duty cycle*. Pada arduino nano diperlukan persamaan seperti dibawah ini:

Dimana:

$F_{pwm}$  = frekuensi output (f)

$F_{osc}$  = frekuensi oscillator (f)

N = skala clock

TOP = nilai maksimum counter

Duty Cycle = lebar pulse

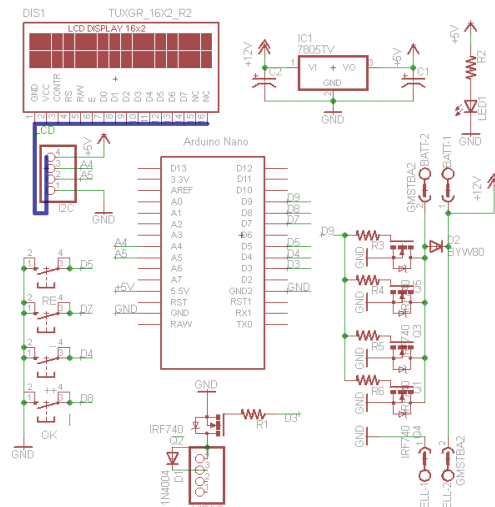
OCR1A =

$$f(pwm) = \frac{F_{osc}}{N \cdot (1 + TOP)}$$

$$Duty Cycle (D) = \frac{OCR1A}{TOP} \times 100\%$$

Skema rangkaian

keseluruhan generator PWM berbasis arduino nano sebagai berikut:



Gambar.3.5 skema rangkaian PWM

### Uji Fungsional

Uji fungsional dilakukan untuk mengecek generator HHO ini beroperasi dengan baik atau tidak. Indikator yang penting dalam uji ini adalah apakah timbul kebocoran pada generator tersebut. apakah timbul kebocoran gas HHO pada sambungan pipa PVC dan bagian lainnya. apakah listrik mengalir dengan baik atau tidak. dan apakah gas HHO dihasilkan atau tidak. Uji fungsional juga dilakukan pada generator PWM. dengan indikator antara lain: apakah gelombang PWM dapat dihasilkan. apakah rentang frekuensi yang terjadi sesuai dengan yang diinginkan. apakah *duty circle* sesuai dengan yang diinginkan Sedangkan pada transistor MOSFET diuji apakah transistor ini dapat menyalurkan gelombang yang dihasilkan dari generator PWM ini menuju output dan bagaimana bentuk gelombang yang terjadi pada bagian output. Bila seluruh indikator tersebut sudah berjalan dengan baik. maka penelitian bisa dilanjutkan ketahap selanjutnya. namun bila ada masalah pada salah satu indikator





tersebut maka harus segera diperbaiki sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya. Pada ujicoba ini juga dilakukan pengukuran daya dan debit gas HHO yang dihasilkan pada larutan dengan konsentrasi KOH 10 gram/ 1 liter.:

### Pengambilan Data dan Analisa

Setelah alat melewati proses uji fungsional dan alat telah berfungsi dengan baik serta sesuai dengan perancangan atau perencanaan, maka proses selanjutnya adalah pengambilan data meliputi tegangan yang di butuhkan generator HHO, ampere yang di butuhkan generator HHO, temperature kerja generator HHO serta waktu yang di butukan untuk mengukur gas HHO dalam 250cc dilanjut analisis meliputi perhitungan laju produksi gas HHO, spesifik gas produksi (SGP) generator HHO, dan efisiensi generator gas HHO.

### Penyusunan Laporan

Bagian akhir dari proses perancangan dan pembuatan alat adalah penyusunan laporan. Data-data yang telah terkumpul dan analisis kemudian disusun dalam bentuk laporan akhir.

## HASIL DAN PEMBAHAAN

### 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

- Arus listrik (I) = 29 A
- Tegangan listrik (V) = 10.01 V
- Waktu Produksi Gas (t) = 15 sec
- Volume gas terukur (V) = 250cc

### 2. Properties Gas HHO

- Massa Jenis Gas HHO = 0,491167 kg/m<sup>3</sup>
- Temperatur Gas HHO = 25°C = 298 K
- Tekanan Gas HHO (P) = 1 atm
- Konstanta Gas Universal (R) = 0,08206 L.atm/mol .K
- Nilai energi entalphi (h) untuk penguraian gas H<sub>2</sub>O pada kondisi gas ideal, STP: Δh = +285,84 x 10<sup>3</sup> J/mol

Reaksi endoterm yang menghasilkan energi entalphi yang bernilai positif.

### 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 Watt.

### 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 :

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



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

### Spesifik Gas Production Generator HHO (SGP)

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

$$\begin{aligned}
 SGP &= \frac{\text{LajuProduksiGasHHO}}{\text{kerja yang dilakukan per satuan waktu (daya)}} \\
 SGP &= \frac{m}{P} \\
 SGP &= \frac{4.91167 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{menit}} \times \frac{\text{menit}}{60 \text{ detik}}}{290.2 \text{ Watt}} = \\
 &2.82 \times 10^{-8} \frac{\text{kg}}{\text{J}}
 \end{aligned}$$

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

### Efisiensi Generator Gas HHO

Effisiensi Generator HHO dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

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

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 , 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:

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

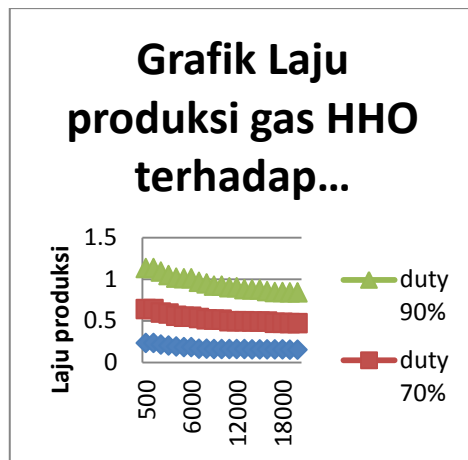
Maka, Efisiensi yang didapatkan :

$$\begin{aligned}
 \eta_{\text{Gen}} &= \frac{\Delta h \times n}{(V \times I)} \times 100\% \\
 \eta_{\text{Gen}} &= \frac{194.814 \text{ J/s}}{290.29 \text{ Watt}} \times 100\%
 \end{aligned}$$

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

### 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 gas HHO tipe basa (*Wet cell*) dengan konsentrasi larutan elektrolit yang digunakan 10 gram KOH/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 gas HHO 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 generator gas 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

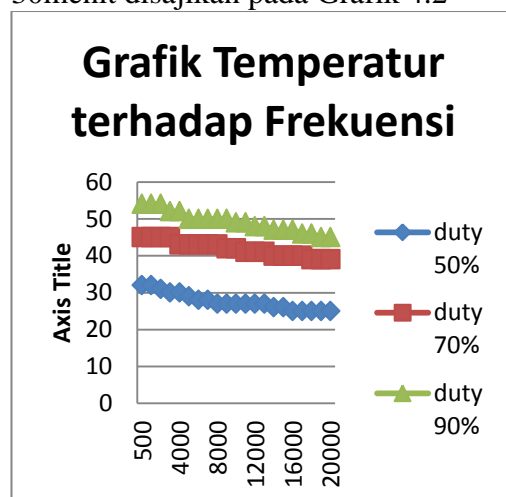




0.15036 gr/menit, hal ini dikarenakan laju produksi ( $m$ ) gas HHO di pengaruhi oleh nilai debit ( $Q$ ) gas HHO apabila nilai debit ( $Q$ ) gas HHO naik maka waktu (detik) produksi gas HHO per250cc akan menuruh sedangkan waktu (detik) di pengaruhi oleh daya (watt) yang dibutuhkan dalam produksi gas 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 ( $m$ ).

### 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*



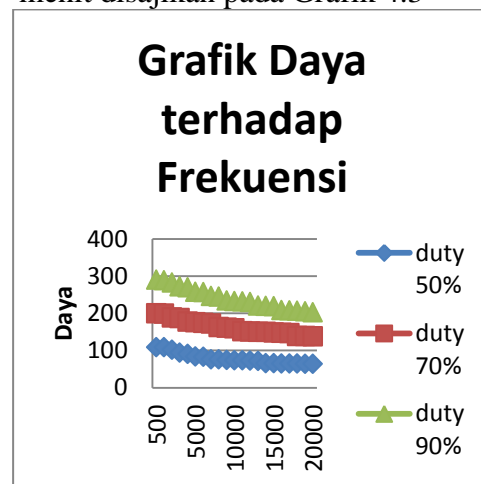
90% temperatur pada frekuensi 5.000-9.000 Hz dengan nilai temperature 50oC. Pada *duty cycle* 90% temperatur pada frekuensi 3.000-4.000 Hz dengan nilai temperature 52oC. Pada *duty cycle* 90% temperatur pada frekuensi 500-2000 Hz dengan nilai temperature 54oC.

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 persatuannya 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 temperature elektrolit generator gas HHO. Sedangkan pada pengujian unjuk kerja generator 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 ga

HHO sehingga semakin tinggi temperatur elektrolit generator gas HHO.

### 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

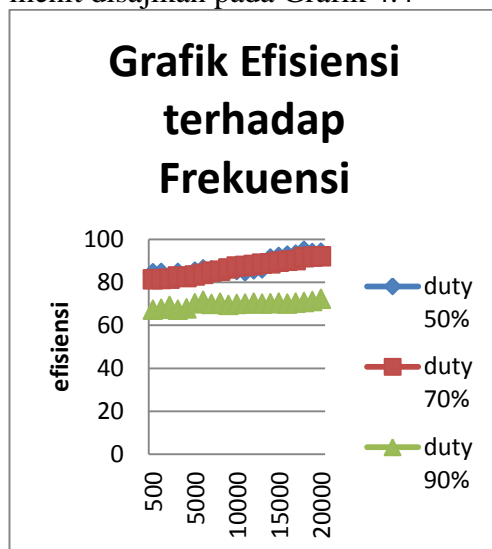
Daya yang paling besar terdapat pada pengujian *duty cycle* 90% dengan frekuensi 500 Hz sebesar 290.29 watt dan dari pengujian dengan frekuensi 20.000 Hz dan *duty cycle* 70% didapat nilai daya terkecil 199.68 watt. sedangkan *duty cycle* 50% dengan frekuensi 20.000 Hz didapat nilai daya terkecil 63,69 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 persatuannya 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.

#### 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 4.11 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 effisiensinya 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.

## Kesimpulan

Dari penelelitian yang dilakukan tentang generator gas HHO tipe basa (*Wett cell*) dapat disimpulkan:

1. Laju produksi gas HHO semakin besar seiring bertambahnya *duty cycle* dan semakin besar seiring berkurangnya frekuensi. Laju produksi gas HHO terbesar pada *duty cycle* 90% dengan frekuensi 500 Hz sebesar 0.49117 gram/menit sedangkan laju produksi gas HHO terkecil pada *duty cycle* 90% dengan frekuensi 20.000 Hz sebesar 0.36838 gram/menit. Laju produksi gas HHO terbesar pada *duty cycle* 70%



- dengan frekuensi 500 Hz sebesar 0.40930 gram/menit sedangkan laju produksi gas HHO terkecil pada *duty cycle* 70% dengan frekuensi 20.000 Hz sebesar 0.32032 gram/menit. Laju produksi gas HHO terbesar pada *duty cycle* 50% dengan frekuensi 500 Hz sebesar 0.23023 gram/menit sedangkan laju produksi gas HHO terkecil pada *duty cycle* 50% dengan frekuensi 20.000 Hz sebesar 0.15036 gram/menit artinya *duty cycle* dan frekuensi sangat mempengaruhi hasil laju produksi gas HHO.
2. Laju produksi gas HHO semakin besar seiring berkurangnya frekuensi. Laju produksi gas HHO terbesar pada frekuensi 500 Hz sebesar 0.49117 gram/menit sedangkan laju produksi gas HHO terkecil pada frekuensi 20.000 Hz sebesar 0.15036 gram/menit artinya frekuensi sangat mempengaruhi hasil laju produksi gas HHO.
  3. Laju produksi gas HHO semakin besar seiring bertambahnya *duty cycle*. Laju produksi gas HHO terbesar pada *duty cycle* 90% sebesar 0.49117 gram/menit. laju produksi gas HHO terkecil pada *duty cycle* 50% dengan frekuensi 20.000 Hz sebesar 0.15036 gram/menit artinya *duty cycle* sangat mempengaruhi hasil laju produksi gas HHO.
  4. Pada frekuensi 20.000 Hz dengan *duty cycle* 50% memiliki efisiensi tertinggi dengan nilai efisiensi 93.63 %. Pada frekuensi 500 Hz dengan *duty cycle* 90% memiliki efisiensi terendah dengan nilai efisiensi 67.11%.

## Saran

Adapun untuk penelitian tentang gas Brow's antara lain:

1. Membuat desain generator gas HHO tipe basa (*Wett cell*) yang lebih baik lagi, untuk menghindari adanya kebocoran gas yang dapat menurunkan produksi gas HHO.
2. Pembuatan tabung generator gas HHO tipe basa (*Wett cell*) di usahakan tahan terhadap suhu tinggi khusus untuk penyangga elektrodanya agar menghindari dari lelehnya tabung di sekitar elektroda yang panas.
3. Pengambilan data percobaan yang lebih lama agar mengetahui ketahanan generator gas HHO terhadap temperatur elektrolit yang terjadi didalam generator.

## DAFTAR PUSTAKA

- Andrian, P. D. (2010), "Pengaruh Variasi Elektrolit Kalium Hidroksida (KOH) Pada Generator Hho Terhadap Unjuk Kerja & Emisi Gas Buang Mesin Supra X Pgmfi125 Cc", Tugas akhir, Teknik Mesin ITS, Surabaya.
- AFitriana, Barkah. (2011), "Komparasi Performa Generator HHO dengan Elektroda SS 304 Plat dan Spiral". Tugas Akhir, Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Gaikwad, K.S. (2004), "Development of a Solid Electrolyte for Hydrogen Production", Thesis, Master of Science in Electrical Engineering Department of Electrical Engineering College of Engineering University of South Florida.