

Studi Karakteristik Generator Gas HHO Tipe *Dry Cell* dan *Wet Cell* berdimensi 80 x 80 mm dengan Penambahan *PWM E-3 FF* (1 kHz)

Yanur Arzaqa Ghiffari dan Djoko Sungkono Kawano

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: hdkawano@me.its.ac.id

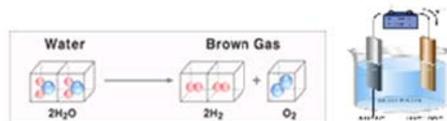
Abstrak—Ketersediaan bahan bakar minyak semakin terbatas dan hasil pembakarannya berdampak pada pencemaran lingkungan, salah satu solusinya dengan memanfaatkan gas HHO pada kendaraan bermotor. Penelitian dengan sistem *direct connection*, temperatur mencapai lebih dari 90°C menyebabkan generator HHO menjadi rusak dan meleleh, maka penelitian ini menambahkan alat untuk mengontrol besarnya arus, frekuensi, dan *duty cycle*. Pengembangan generator HHO menggunakan tipe kering (*dry cell*) dan tipe basah (*wet cell*) dengan penambahan PWM (Pulse Width Modulation) E-3 Fixed Frequency 1 kHz divariasikan berupa *duty cycle*: 20%, 40%, 60%, 80% dan *direct connection*. Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar - Teknik Mesin ITS. Dari hasil penelitian didapatkan karakteristik unjuk kerja terbaik pada kedua tipe generator HHO dengan penambahan PWM. Nilai arus dan tegangan lebih stabil dibandingkan dengan tanpa penambahan PWM (*direct connection*), namun arus cenderung meningkat seiring dengan kenaikan temperatur mencapai 70°C. Efisiensi terbaik pada generator tipe *wet* dengan *duty cycle* 80%, yaitu 27,7 %.

Kata Kunci—Generator, Gas HHO, *Dry Cell*, *Wet Cell*, PWM

I. PENDAHULUAN

MASYARAKAT dunia terus menyerukan penghematan energi terutama bahan bakar minyak. Salah satu teknologi penghematan energi dengan memanfaatkan gas HHO (*Brown's Gas*) pada mesin kendaraan. Generator Gas HHO merupakan sistem elektrolisis air yang ditambah dengan katalisator dapat menghasilkan hidrogen dan oksigen murni yang memiliki nilai kalor dan oktan yang tinggi. Hasil pembakaran dari pencampuran dengan gas HHO dapat meningkatkan performa mesin dan mengurangi tingkat polusi [1].

Dari penelitian sebelumnya di Laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar - Teknik Mesin ITS dengan sistem *direct connection*, temperatur mencapai lebih dari 90°C menyebabkan bejana generator gas HHO menjadi rusak dan meleleh. Jika temperaturnya terus naik maka mengurangi kualitas gas HHO karena gas yang dihasilkan akan bercampur dengan uap air [2]. Penelitian optimasi generator gas HHO ini terus dikembangkan untuk mendapatkan hasil produksi gas HHO terbaik dengan temperatur dibawah 50°C. Salah satu tantangannya adalah setiap variasi generator HHO dan PWM yang digunakan memiliki performa yang berbeda-beda. Sehingga perlu adanya penelitian mengenai studi karakteristik dari unjuk kerja generator gas HHO dengan berbagai tipe untuk mendapatkan optimasi terbaik, yang nantinya bisa diaplikasikan pada kendaraan bermotor.



Gambar 1. Pemecahan Molekul Air menjadi Gas HHO

II. URAIAN PENELITIAN

A. Gas HHO (*Hidrogen Hidrogen Oksida*)

Air (H_2O) adalah senyawa terpenting dalam kehidupan yang dalam kandungannya terdiri dari senyawa Hidrogen (H_2), dan senyawa Oksigen (O_2). Sedangkan Gas HHO merupakan gas hasil dari proses pemecahan air murni (H_2O) dengan proses elektrolisis [3].

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.

- Reaksi oksidasi di anoda (+) : $2 H_2O_{(l)} \rightarrow O_{2(g)} + 4 H^+_{(aq)} + 4 e^-$
- Reaksi reduksi di katoda (-) : $2 H^+_{(aq)} + 2 e^- \rightarrow H_{2(g)}$
- Reaksi keseluruhan : $2 H_2O_{(l)} \rightarrow 2 H_{2(g)} + O_{2(g)}$

Jika elektrolit yang digunakan adalah larutan basa seperti KOH (basa dari golongan periode IA, alkali tanah) maka akan terjadi reaksi basa. Pada reaksi basa, reaksi reduksi terjadi di katoda dimana molekul air mengikat elektron (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 $H_2O_{(l)}$.

Gas hidrogen mempunyai beberapa karakteristik yaitu : tidak berwarna, mudah terbakar (*flammable*), sangat ringan, dan sangat mudah bereaksi dengan zat kimia lainnya. Namun gas HHO pada kondisi normal tidak akan terbakar dengan sendirinya tanpa ada sulutan api.

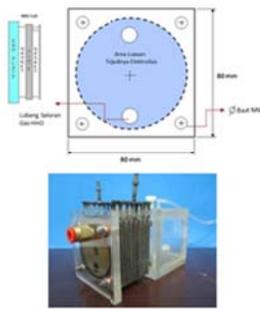
B. Generator HHO

Generator gas HHO tersusun atas 2 komponen dasar, yaitu tabung generator yang terdiri atas tabung, sepasang elektroda dan elektrolit. Dan sumber tenaganya yang berupa baterai ataupun aki. Generator ini bekerja dengan prinsip elektrolisa air.

Generator gas HHO diklasifikasikan menjadi 2 tipe, yakni sebagai berikut:

1. Tipe Kering (*dry type/dry cell*)

Adalah generator HHO dimana sebagian elektrodanya tidak terendam elektrolit dan elektrolit hanya mengisi celah-celah antara elektroda itu sendiri.



Gambar 2. Luasan Elektroda pada Generator HHO Dry Cell

Keuntungan generator HHO tipe *dry cell* adalah :

- Air yang di elektrolisa hanya seperlunya, yaitu hanya air yang terjebak diantara lempengan cell.
- Panas yang ditimbulkan relative kecil, karena selalu terjadi sirkulasi antara air panas dan dingin di reservoir.
- Arus listrik yang digunakan relatif lebih kecil, karena daya yang terkonversi menjadi panas semakin sedikit.

Luasan lingkaran pada plat elektroda yang terendam air adalah area terjadinya elektrolisis untuk menghasilkan gas HHO, sedangkan bagian luasan yang lainnya tidak terendam air dan plat dalam kondisi kering. Luasan yang terelektrolisis sekitar 60% dan cukup dibatasi dengan o-ring atau seal yang berdiameter 70 mm pada setiap plat yang digunakan. Selain itu pada setiap plat terdapat dua lubang berdiameter 12 mm untuk saluran gas HHO yang berada di bagian atas dan di bawah.

2. Tipe Basah (*wet cell*)

Adalah generator HHO dimana semua elektrodanya terendam cairan elektrolit di dalam sebuah bejana air.

Keuntungan generator gas HHO tipe *wet cell* adalah :

- Gas yang dihasilkan umumnya lebih banyak dan stabil.
- Perawatan generator lebih mudah.
- Rancang bangun pembuatan generator HHO lebih mudah.

Pada tipe *wet cell* atau tipe basah, semua area luasan elektroda platnya terendam air untuk proses elektrolisis menghasilkan gas HHO. Sehingga luasan elektrolisis tersebut sama dengan luasan setiap plat yang digunakan yaitu berdimensi 80 mm x 80 mm.

C. Parameter Unjuk Kerja Generator HHO

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

1. Daya yang Dibutuhkan Generator HHO (P_{HHO})

Untuk menghasilkan gas HHO dengan menggunakan proses elektrolisis air dibutuhkan energi listrik. Oleh karena itu harus diketahui daya yang dibutuhkan generator HHO. Perumusan untuk mencari daya yang dibutuhkan adalah :

$$P = V \times I$$

dimana:

P = Daya yang dibutuhkan generator HHO (watt)

V = Beda potensial/voltase (volt)

I = Arus listrik (Ampere)

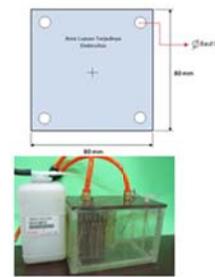
2. Laju Produksi Gas HHO (\dot{m}_{HHO})

Untuk mengetahui seberapa baik kerja dari generator HHO, maka perlu diketahui seberapa banyak gas HHO yang dihasilkan oleh generator itu sendiri. Untuk menghitung *mass flowrate* gas HHO dengan persamaan berikut :

$$\dot{m} = Q \times \rho$$

dimana :

\dot{m} = Laju Produksi Gas HHO (Kg/s)



Gambar 3. Luasan Elektroda pada Generator HHO Wet Cell

Q = Debit Produksi gas HHO (m^3/s)

ρ = Massa Jenis HHO (Kg/m^3)

dengan perumusan Debit Produksi gas HHO :

$$Q = V/t$$

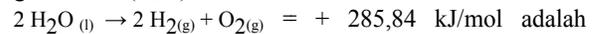
dimana :

V = Volume gas Terukur (m^3)

t = Waktu produksi gas HHO (s)

3. Efisiensi Generator Gas HHO (η_{HHO}), [%]

Efisiensi merupakan perbandingan antara energi yang berguna dengan energi yang diberikan pada suatu sistem. Pada generator HHO, hasil yang berguna adalah produk elektrolisis air berupa gas HHO yang didapatkan pada reaksi penguraian air (H_2O):



adalah reaksi endoterm yang bernilai positif (+). Reaksi yang membutuhkan panas. Kalor mengalir dari lingkungan ke sistem (terjadi kenaikan entalpi), entalpi produk lebih besar daripada entalpi pereaksi. $\Delta h = + 285,84 \times 10^3 \frac{J}{mol}$

Sedangkan energi ikatan yang dibutuhkan adalah melalui penurunan persamaan gas ideal pada kondisi STP [4]:

$$pV = nRT$$

dimana :

p = Tekanan Gas ideal (atm)

V = Volume gas terukur (L)

n = Molaritas senyawa (mol)

R = Konstanta Gas ideal ($kJ/kmol \cdot ^\circ K$ atau $L \cdot atm/mol \cdot K$)

T = Temperatur, $298^\circ K$.

Energi ikatan didefinisikan sebagai energi yang diperlukan untuk memutuskan 1 mol ikatan dari suatu molekul dalam wujud gas. Energi ikatan dinyatakan dalam

kilo Joule per mol ($kJ \text{ mol}^{-1}$). Untuk menghilangkan nilai per mol dari entalpi dan menyamakan nilai input dari daya dengan satuan watt (J/s), maka volume gas dan mol diberi satuan per waktu. Perumusannya sebagai berikut :

$$P \times \dot{V} = \dot{n} \times R \times T$$

didapatkan :
$$\dot{n} = \frac{P \times \dot{V}}{R \times T}$$

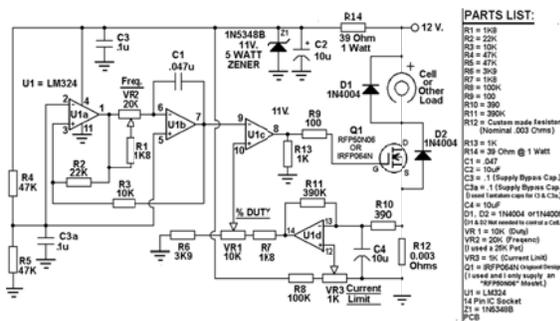
dimana :

\dot{V} = Volume per detik (Liter/s)

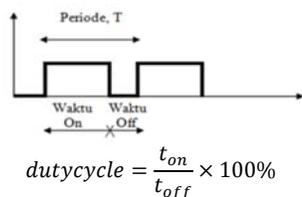
\dot{n} = Molaritas senyawa per waktu (mol/s)

Maka,

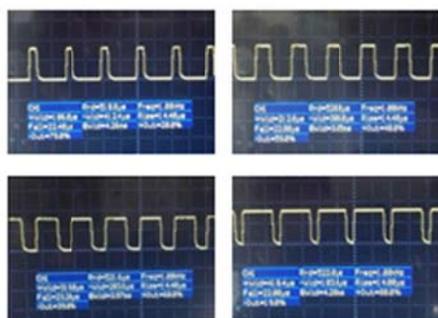
$$\eta = \frac{\text{Energi Teoritis yang Digunakan untuk Elektrolisa}}{\text{Energi Aktual yang Dibutuhkan Generator HHO}} \times 100\% = \frac{\dot{n} \times \Delta h}{(V \times I)} \times 100\%$$



Gambar 4. Skema Rangkaian PWM yang Digunakan (Sumber : www.alt-nrg.org)



Gambar 5. Skema Perhitungan Nilai Duty Cycle pada PWM

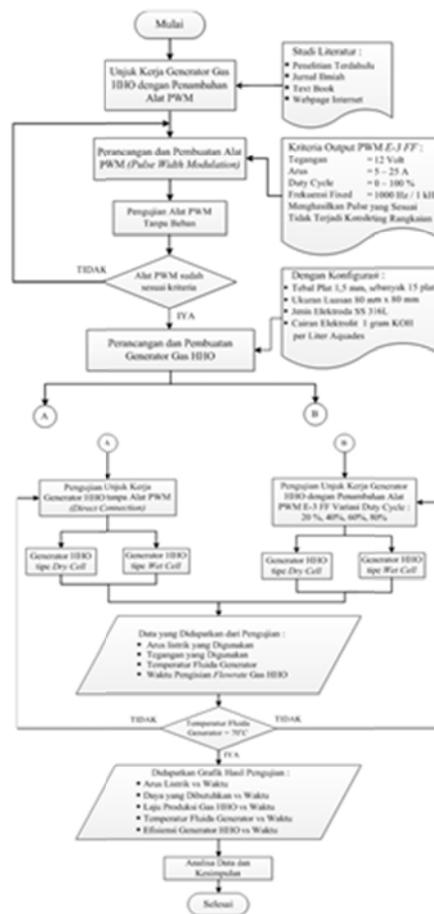


Gambar 6. Duty cycle 20%, 40%, 60%, 80 % dengan Frekuensi 1 kHz

D. PWM (Pulse Width Modulation)

PWM merupakan rangkaian alat elektronika untuk mengontrol arus *pull in* yang besar dan untuk menghindari disipasi daya yang berlebihan pada baterai dan generator HHO. PWM merupakan salah satu metoda untuk mengatur arus dan tegangan dengan cara mengatur prosentase lebar pulsa terhadap periode dari suatu sinyal persegi dalam bentuk tegangan periodik yang diberikan ke motor sebagai sumber daya. (Ribut Pujo S., 2011). Sinyal PWM dapat dibangun menggunakan metode analog menggunakan rangkaian op-amp atau dengan menggunakan metode digital yang bisa dipengaruhi oleh resolusi dari PWM itu sendiri. Penggunaan PWM dapat dibuat dengan menggunakan IC Timer 555 atau IC LM324N. IC Timer merupakan salah satu IC yang memiliki dasar pengendali PWM dengan fitur pengendalian lebar pulsa 0 sampai 100%. Tegangan pulsa dari sumber listrik DC yang digunakan tersebut dapat diatur *duty cycle*-nya. *Duty cycle* inilah yang kemudian dijadikan sebagai sinyal PWM [5].

Pada penggunaan PWM dibutuhkan *driver* mosfet, berfungsi sebagai komponen daya yang dikendalikan oleh tegangan dan memerlukan arus masukan kecil. Mosfet mempunyai satu rangkaian *driver* untuk mengatur pensaklaran mosfet melalui kaki *gate*. Untuk penyalaan mosfet agar menghantar, diperlukan tegangan V_{GS} yang lebih besar atau sama dengan tegangan *threshold* (tegangan



Gambar 7. Flowchart Penelitian

minimum yang dibutuhkan mosfet untuk menghantar) dari mosfet. (Yuli Asmi Rahman, 2011:72-73).

Rangkaian alat elektronika PWM yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 6.

E. Variasi Duty Cycle pada PWM

Duty cycle adalah perbandingan lama waktu suatu signal berada dalam kondisi *high* dengan lama waktu suatu signal tersebut dalam kondisi (*high + low*), duty cycle sangat berguna dalam merancang alat-alat yang menggunakan konsep PWM (*Pulse Width Modulation*). Dengan cara mengatur lebar pulsa “ON” dan “OFF” dalam satu periode gelombang melalui pemberian sinyal referensi output dari suatu PWM akan didapat duty cycle yang diinginkan [6]. Duty cycle dari PWM.

Visualisasi pada osiloskop untuk duty cycle yang digunakan dalam pengujian dengan PWM E-3 FF (1 kHz).

III. METODOLOGI

Penelitian dilakukan dengan metode eksperimental untuk mengetahui karakteristik pengaruh penambahan PWM (*Pulse Width Modulation*) dengan frekuensi tetap terhadap unjuk kerja generator HHO menggunakan tipe *dry cell* dan tipe *wet cell*. Generator gas HHO yang dirancang berdimensi 80 mm x 80 mm sebanyak 15 plat. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Bakar dan Teknik Pembakaran Jurusan Teknik Mesin ITS.

Adapun flowchart penelitian dapat dilihat pada Gambar 7. Penelitian ini juga membandingkan performa dari

generator HHO tanpa PWM (*direct*) dengan generator menggunakan PWM. Berikut ini skema pengujian dengan penambahan PWM E-3 FF (1kHz).

IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Adapun dari pengujian kedua tipe generator HHO ini, didapatkan analisa data Generator HHO tipe dry cell dan tipe wet cell sebagai berikut:

1. Arus yang Digunakan Generator HHO

Adanya perbedaan potensial listrik menyebabkan adanya aliran arus dan tegangan. Semakin besar beda potensial, maka arus listrik yang mengalir melalui elektroda juga semakin besar. Elektroda dipengaruhi oleh dimensi elektroda dan hambatan jenis elektroda itu sendiri [7]. Secara

$$I = \frac{V}{R} \text{ dan } R = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

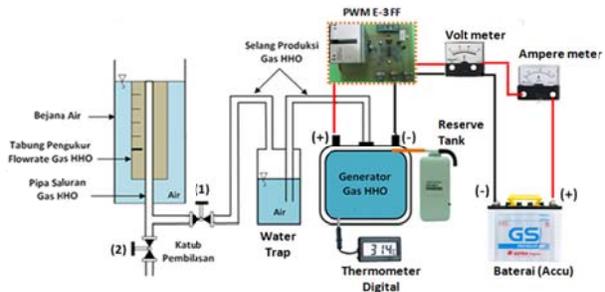
dimana :

- ρ = hambatan jenis logam (Ωm)
- l = panjang elektroda (m)
- A = luas penampang (m^2)

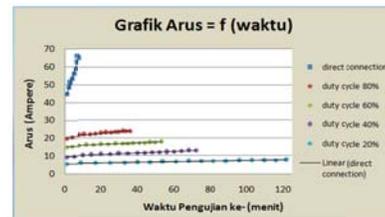
Pada grafik tersebut, perbedaan arus sangat signifikan pada pengujian generator gas HHO yang tidak menggunakan PWM (*direct*). Karena tidak adanya rangkaian pengontrol, menyebabkan melonjaknya range arus dan tegangan listrik. Pada *dry cell* antara 42 – 65 A dalam waktu 8 menit sedangkan pada *wet cell* dari 70 - 85 A dalam waktu 5 menit, untuk mencapai suhu 70°C. Karakteristik pada pengujian generator *dry cell* dan *wet cell* menggunakan PWM nilai arus cenderung stabil, duty cycle mempengaruhi aliran arus dan tegangan yang mengalir pada elektroda, sehingga arus dan tegangan tidak di alirkan secara terus menerus tetapi putus-putus (on-off) namun tetap kontinyu. Karakteristik unjuk kerja pada duty cycle 20% merupakan range arus terendah dan memiliki waktu kerja terlalu lama sampai 120 menit, hal ini disebabkan perbandingan lama waktu signal on dalam kondisi terendah untuk bisa menghasilkan gas HHO. Sedangkan karakteristik duty cycle 80% memiliki range arus tertinggi dan memiliki waktu kerja mencapai 40 menit dalam mencapai temperatur 70°C.

2. Temperatur Fluida Generator Gas HHO

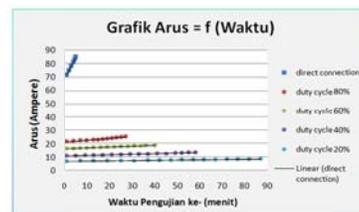
Grafik temperatur terhadap fungsi waktu menunjukkan nilai temperatur meningkat seiring bertambahnya waktu. Akan tetapi, peningkatan signifikan pada generator wet cell tanpa PWM yaitu 31,5oC sampai 70oC dalam waktu 5 menit. Hal ini disebabkan oleh tingginya arus yang mengalir pada elektroda generator tidak terkontrol. Karakteristik dari pengujian generator menggunakan PWM, peningkatan temperatur tidak begitu signifikan dan bisa terkontrol untuk menjaga kualitas gas HHO agar tidak menghasilkan uap air. Pada duty cycle 20% kenaikan temperatur cenderung lebih lama dan stabil. Namun seiring dengan variasi duty cycle 40%, 60%, dan 80% peningkatan temperatur menjadi lebih cepat. Tetapi jika dibandingkan dengan direct connection, penggunaan PWM pada kedua tipe generator menjadi lebih baik. Hal ini disebabkan karena pola duty cycle yang tidak mengalirkan arus dan tegangan penuh secara terus menerus, namun putus-putus (on-off).



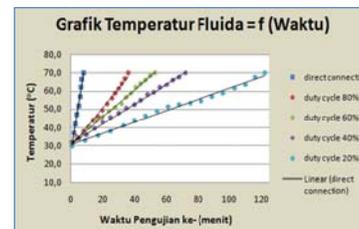
Gambar 8. Skema Pengujian Alat



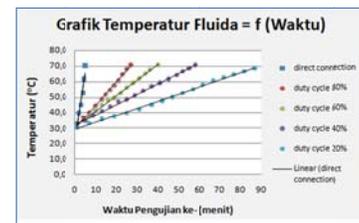
Gambar 9. Arus Fungsi Waktu Generator Dry Cell



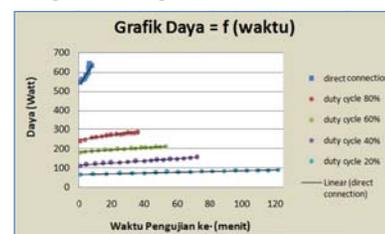
Gambar 10. Arus Fungsi Waktu Generator Wet Cell



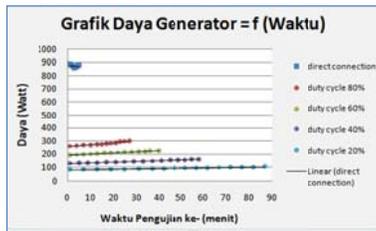
Gambar 11. Temperatur Fungsi Waktu Generator Dry Cell



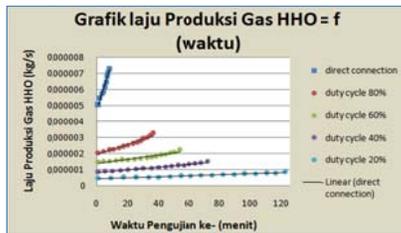
Gambar 12. Temperatur Fungsi Waktu Generator Wet Cell



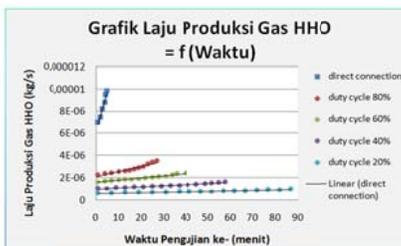
Gambar 13. Daya Fungsi Waktu Generator Dry Cell



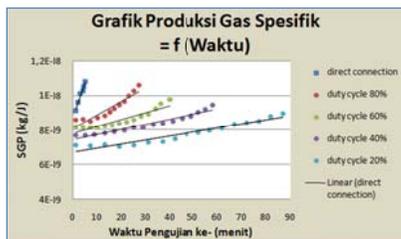
Gambar 14. Daya Fungsi Waktu Generator Wet Cell



Gambar 15. Flowrate Fungsi Waktu Generator Dry Cell



Gambar 15. Flowrate Fungsi Waktu Generator Wet Cell



Gambar 17. SGP Fungsi Waktu Generator Dry Cell

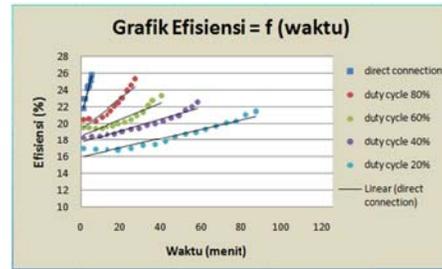
3. Daya yang Dibutuhkan Generator HHO

Grafik daya terhadap fungsi waktu memperlihatkan tren grafik yang terus naik. Daya dengan peningkatan terbesar terdapat pada generator tanpa PWM, sedangkan pada Generator dengan PWM yang diatur oleh duty cycle tertentu memiliki grafik peningkatan yang lebih landai. Kenaikan kebutuhan daya pada generator HHO seiring dengan meningkatkan arus yang digunakan untuk proses elektrolisis. Seperti halnya rumusan daya adalah tegangan dikalikan arus.

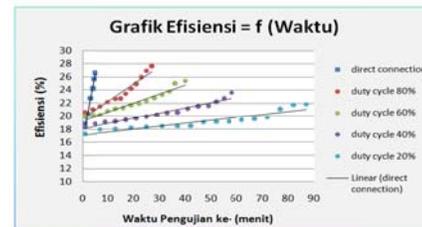
Karakteristik dari pengujian unjuk kerja kedua tipe generator menggunakan PWM variasi duty cycle 20% memiliki kenaikan daya paling kecil. Kebutuhan daya terbesar pada variasi duty cycle 80% dibandingkan dengan variasi yang lain. Semakin besar beda potensial, maka energi yang mengalir melalui suatu penghantar 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.

4. Laju Produksi Gas HHO yang Dihasilkan

Grafik laju produksi gas HHO terhadap fungsi waktu menunjukkan peningkatan seiring dengan waktu pengujian



Gambar 18. Efisiensi Fungsi Waktu Generator Dry Cell



Gambar 19. Efisiensi Fungsi Waktu Generator Wet Cell

Tren grafik yang mengalami peningkatan signifikan adalah pengujian tanpa PWM. Berbeda dengan pengujian dengan menggunakan PWM, tren grafik yang terlihat lebih landai. Penurunan laju produksi gas HHO inilah yang menjadi kelemahan dari sistem yang menggunakan rangkaian PWM.

Karakteristik laju produksi gas pada generator variasi duty cycle 20% merupakan laju produksi gas HHO terendah pada pengujian ini namun memiliki waktu kerja terlama yang mencapai 120 menit. Sedangkan pada variasi duty cycle tertinggi 80% didapatkan laju produksi sebesar $6,5 \times 10^{-6}$ kg/s. Hal ini disebabkan perbandingan lama waktu suatu signal on berada dalam kondisi tertinggi untuk menghasilkan gas HHO. Laju produksi gas HHO yang semakin besar karena debit pada generator gas HHO meningkat, debit meningkat dikarenakan waktu produksi dari gas HHO per volume semakin cepat. Seiring dengan bertambahnya waktu, temperatur panas dari generator gas HHO yang bekerja juga semakin besar. Berikut ini grafik laju produksi gas HHO jika difungsikan terhadap temperatur yang dibatasi hingga mencapai maksimal 70°C.

5. Produksi Gas HHO Spesifik

Grafik *specific gas production* diatas menunjukkan tren peningkatan signifikan pada kedua tipe generator. Generator tanpa PWM memiliki SGP yang cukup tinggi dibandingkan dengan generator dengan PWM. Dari perumusan $SGP = \frac{\dot{m}}{P}$

Dimana :

\dot{m} = Laju Produksi gas HHO (kg/s)

P = Daya Generator (Watt)

Nilai SGP ini dipengaruhi oleh peningkatan nilai laju produksi dari generator gas HHO dan peningkatan arus yang digunakan pada konsumsi daya generator. Fenomena ini karena meningkatnya laju produksi seiring bertambahnya waktu, dimana laju produksi ini dipengaruhi oleh debit gas HHO yang meningkat pula. Gas HHO ini meningkat laju produksinya karena temperatur yang meningkat pula, temperature dipengaruhi oleh arus yang meningkat. Spesifik gas production (SGP) tertinggi dimiliki dengan duty cycle 80% dibandingkan variasi duty yang lain.

6. Efisiensi Generator Gas HHO

Efisiensi didapatkan dari energi yang berguna (output) diwakili oleh perkalian nilai energi entalpi HHO (ΔH) dengan molaritas senyawa per satuan waktu, sedangkan

energi yang dibutuhkan generator (input) diwakili oleh daya generator HHO. Perubahan entalpi total pada suatu sistem reaksi terjadi ketika satu molekul bereaksi sempurna dengan oksigen yang terjadi pada 298°K dan tekanan atmosfer 1 atm. Nilai entalpi akan tetap konstan selama tidak ada energi yang masuk atau keluar dari zat. Perubahan kalor atau entalpi yang terjadi selama proses penerimaan atau pelepasan kalor dinyatakan dengan *perubahan entalpi* (Δh). Reaksi yang terjadi dalam fluida generator adalah reaksi *endoterm*, yaitu menyerap panas dari lingkungan ke sistem, temperatur dari campuran reaksi akan turun dan energi potensial dari zat kimia yang bersangkutan akan naik [8].

Tren grafik secara umum mengalami kenaikan yang dikarenakan kenaikan laju produksi gas HHO lebih besar seiring dengan kenaikan daya generator HHO relatif signifikan. Sehingga karakteristik pada unjuk kerja dengan variasi terbaik adalah generator dengan duty cycle 80% dikarenakan laju produksi gas HHO yang relatif cukup tinggi dibandingkan duty cycle yang lain dengan kebutuhan daya generator yang memiliki nilai selisih sedikit .

V. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan ini diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- Besarnya arus listrik meningkat seiring dengan waktu pengujian yang semakin lama. Setiap variasi pengujian generator HHO memiliki nilai arus yang berbeda. Pada duty cycle 80% berkisar antara 19 – 24 A, pada duty cycle 60% antara 14 – 18 A, pada duty cycle 40 % antara 9 - 13 A, dan pada duty cycle 20% antara 5 – 8 A. Sedangkan generator tanpa penambahan PWM terjadi kenaikan drastis mencapai 42 A – 85 A.
- Temperatur fluida generator terus meningkat seiring dengan waktu pengujian yang semakin lama. Kenaikan temperatur terbesar pada pengujian generator tanpa PWM dikarenakan penambahan arus yang tidak terkendali. Sedangkan kenaikan temperatur terlama pada generator dry cell dengan duty cycle 20% selama 122 menit.
- Daya generator semakin meningkat seiring dengan bertambahnya arus listrik yang digunakan untuk proses elektrolisa. Konsumsi daya generator tanpa PWM terbesar pada tipe wet cell yaitu 888,5 Watt. Sedangkan dengan penambahan PWM, daya tertinggi pada tipe wet dengan duty cycle 80% sebesar 301 Watt dan daya terendah pada tipe dry cell dengan duty cycle 20% sebesar 66 Watt.
- Laju produksi gas HHO menunjukkan semakin meningkat seiring dengan waktu pengujian yang semakin lama. Laju produksi gas HHO terbesar pada generator wet cell dengan penambahan PWM, yaitu pada duty cycle 80% sebesar $3,51 \times 10^{-6}$ kg/s. Sedangkan laju produksi gas HHO terkecil ada pada generator dry cell dengan duty cycle 20% sebesar $4,71 \times 10^{-7}$ Kg/s.
- Nilai efisiensi mengalami kenaikan seiring dengan dengan waktu pengujian yang semakin lama. Pada generator gas HHO tipe dry dengan PWM duty cycle 80% memiliki efisiensi tertinggi yaitu 27,6 %. Sedangkan efisiensi variasi duty cycle 80% berkisar 20-27%, duty cycle 60% berkisar 19-25%, duty cycle 40% berkisar 18-23%, dan duty cycle 20% berkisar 16-22%, Sedangkan pada pengujian generator tanpa PWM memiliki efisiensi sekitar 18-26 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis berusaha menerapkan ilmu yang didapat selama menjalani perkuliahan di Teknik Mesin. Kiranya penulis tidak akan mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini tanpa bantuan, saran, dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh elemen Laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar – Teknik Mesin ITS khususnya Bapak Prof. Dr. Ir. H. Djoko Sungkono K., M.Eng.Sc. dan Bapak Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT. Serta teman-teman Tim HHO yang penulis banggakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] LIPI, 2010. **Pengujian Water and Air Injection**, Lab. Motor Bakar LIPI.
- [2] Fattah, Ahmad, 2012. **Komparasi Variasi Jumlah Elektroda dengan Panjang Total Kawat pada Generator HHO terhadap Unjuk Kerja Honda Karisma 125**. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin - Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [3] Helmenstine, Anne Marie, 2001. **Chemistry Glossary Definition of Electrolysis**.
- [4] Pudjanarsa, Astu dan Djati Nursuhud: 2006. **Mesin Konversi Energi**. Yogyakarta : Andi.
- [5] Rasiawan, 2009. **Rancang Bagun Elektronik Kontrol Sistem Elektroliser Brown Gas Pada Kendaraan, Thesis S2 Teknik Mesin FTI-ITS, Surabaya**.
- [6] Mallove, Eugene. 1998. **Stanley Meyer, Water-Fuel Cell Inventor & Promoter, Dies Suddenly**
- [7] Dopp, R.B. 2007. **Hydrogen Generation Via Water Electrolysis Using Highly Efficient Nanometal Electrodes**. DSE Quantum Sphere, Inc.
- [8] Saphiro, Moran, 2004. **Termodinamika Teknik**, Jakarta: Erlangga.