

Pengaruh Penambahan PWM (*Pulse Width Modulation*) Pada Generator HHO Tipe *Dry Cell*

Fungky Dyan Pertiwi dan Djoko Sungkono Kawano

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

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

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

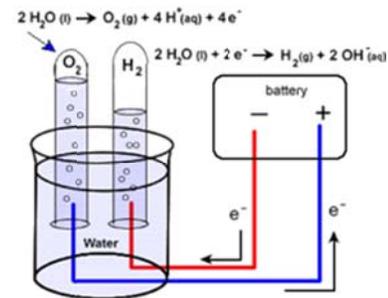
Abstrak—Generator HHO memanfaatkan proses elektrolisis air agar mendapatkan gas H_2 . Namun, pada praktiknya pemakaian arus dari aki yang besar dan temperatur tinggi membuat bejana generator menjadi cepat rusak, sehingga dibutuhkan tambahan rangkaian elektronika PWM pada pengujian generator HHO guna mengatasi permasalahan tersebut. Penelitian menggunakan elektroda plat berjumlah 9 berdimensi $120\text{mm} \times 120\text{mm}$, tebal 1mm dan dibatasi oleh o-ring dengan diameter 126mm, tebal 3mm. Pengujian dilakukan secara eksperimen dengan 2 kelompok yaitu kelompok control yang mana pengujian tanpa menggunakan PWM serta kelompok uji dimana pengujian menggunakan PWM dengan variasi *duty cycle* 30%, 50% dan 70%. Pengujian dilakukan hingga temperatur elektrolit 93°C . Hasil uji didapatkan bahwa arus, laju produksi dan efisiensi terbesar didapatkan pada pengujian tanpa PWM yang mencapai 60,6A, $6,033 \times 10^{-6} \text{kg/s}$ dan 25,69%. Namun, pada pengambilan data kedua efisiensi turun menjadi 19,74%. Penambahan PWM pada pengujian berpengaruh pada arus dan temperatur yang stabil meskipun laju produksi dan efisiensi lebih kecil daripada pengujian tanpa PWM. Pengujian dengan PWM pada *duty cycle* 70% menghasilkan laju produksi dan efisiensi terbesar yang mencapai $1,843 \times 10^{-6} \text{kg/s}$ dan 15,19%.

Kata Kunci—Gas HHO, Dry cell, Duty cycle, PWM.

I. PENDAHULUAN

KETERGANTUNGAN masyarakat dunia, terutama bangsa Indonesia terhadap bahan bakar fosil sebagai sumber penghasil energi utama pada transportasi, industri dan rumah tangga, membuat bahan bakar fosil semakin berkurang. Kelangkaan ini dikarenakan bahan bakar fosil termasuk bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui. Hal tersebut membuat adanya penelitian mengenai energi alternatif dari sumber yang dapat diperbaharui.

Energi alternatif yang sudah dikembangkan antara lain adalah energi surya, geothermal, angin, dan air. Penggunaan energi alternatif ini akan menghemat bahan bakar fosil, sekaligus mengurangi jumlah konsumsi bahan bakar fosil^[1]. Salah satu energi alternatif yang layak dilakukan adalah Brown gas. Penelitian mengenai Brown Gas sudah banyak dilakukan, di Teknik Mesin ITS sendiri, penelitian tersebut menggunakan generator HHO tipe *wet cell* dengan berbagai variasi penelitian. Namun, dari penelitian tersebut temperatur yang dihasilkan oleh generator HHO tinggi dan bejana yang digunakan cenderung mudah rusak. Dari permasalahan itu, maka penulis ingin melanjutkan penelitian generator HHO



Gambar 1. Proses Elektrolisis air^[3]

dengan tipe *dry cell* yang ditambahkan PWM untuk pengaturan *duty cycle* (pulsa kotak) yang diterima dari aki.

Pembuatan PWM dimaksudkan untuk mengurangi temperatur pada generator HHO, dengan PWM maka arus yang diberikan oleh aki ke generator tidak langsung kontinu, namun diatur berupa pulsa kotak. Pulsa kotak (*duty cycle*) merupakan berapa lama waktu *on* dan *off* dari arus yang akan digunakan untuk mengelektrolisis air dalam generator. Semakin besar *duty cycle* yang digunakan hal itu berarti semakin banyak waktu *on* yang diberikan pada generator HHO untuk mengelektrolisis air, sehingga diharapkan dengan PWM mampu mengatasi permasalahan temperatur yang timbul pada generator HHO.

II. TINJAUAN PUSTAKA

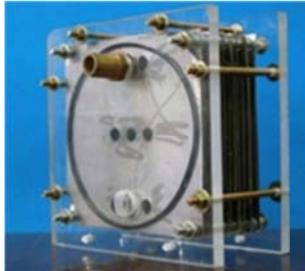
A. Proses Elektrolisis Air

Elektrolisis adalah suatu proses pemecahan senyawa kimia tertentu menjadi suatu molekul baru dengan bantuan arus listrik dan dua elektroda^[2]. Dimana arus listrik tersebut dialirkan pada elektroda positif (anoda) dan elektroda negatif (katoda), apabila diterapkan pada air maka senyawa kimia H_2O akan terpecah menjadi gas Hidrogen (H_2) serta gas Oksigen (O_2). Agar suatu proses elektrolisis bekerja dengan cepat maka diperlukan zat lain yang disebut dengan katalis. Proses elektrolisis air dapat terjadi beberapa reaksi antara lain asam, basa maupun dengan setengah reaksi asam ataupun basa (*alkaline electrolysis*).

^[4]Pada reaksi asam reaksi reduksi terjadi pada elektroda negatif (katoda), dimana elektron (e^-) dari katoda diikat oleh kation H^+ untuk membentuk gas Hidrogen ($H_{2(g)}$). Sedangkan pada elektroda positif (anoda), molekul H_2O kehilangan elektron (e^-) sehingga terpecah menjadi gas Oksigen ($O_{2(g)}$)



Gambar 2. Generator HHO Tipe Basah

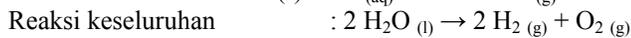
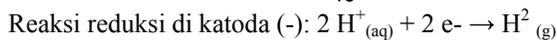
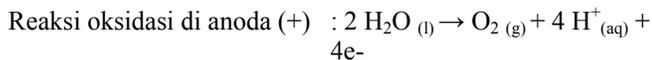


Gambar 3. Generator HHO Tipe kering

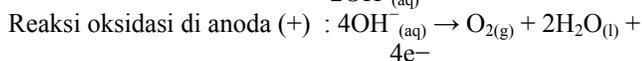
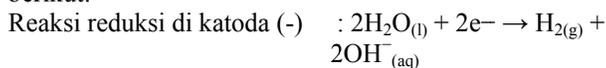
Tabel 1.
Karakteristik Kalium Hidroksida^[5]

No.	KARAKTERISTIK	SATUAN	NILAI
1	Berat Molekul	gr/mol	56,1
2	Titik Lebur	°C	360
3	Titik Didih	°C	1320
4	Densitas	gr/cm ³	2,04
5	Sangat Korosif		

dan kation H⁺. sebagaimana dapat dilihat pada persamaan reaksi kimia berikut:



Jika elektrolit yang digunakan adalah larutan basa seperti KOH, NaOH (basa dari golongan periode IA, alkali tanah) maka akan terjadi reaksi basa. Pada reaksi basa, reaksi reduksi terjadi di katoda dimana molekul air mengikat 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 H₂O_(l), sebagaimana dapat dilihat pada persamaan reaksi kimia berikut:



III. TIPE GENERATOR HHO

A. Generator HHO Tipe Basah (Wet Cell)

Generator HHO Tipe Basah (*Wet Cell*) merupakan generator HHO yang dibuat dengan sistem luasan elektroda tercelup semua dengan larutan elektrolit di dalam bejana. Hal tersebut membuat generator HHO tipe basah membutuhkan larutan elektrolit yang cukup banyak.

B. Generator HHO Tipe Kering (Dry Cell)

Generator HHO Tipe Kering (*Dry Cell*) merupakan kebalikan dari generator tipe basah, hal tersebut dapat diamati dari luasan elektroda yang terkena larutan elektrolit lebih sedikit daripada tipe basah karena di tipe kering larutan elektrolit berada diantara plat (elektroda) dan seal. Hal tersebut menjadikan tipe kering membutuhkan larutan elektrolit lebih sedikit untuk proses elektrolisis.

IV. ELEKTRODA

Elektroda merupakan salah satu komponen yang sangat penting dalam proses elektrolisis. Elektroda berfungsi menghantarkan arus listrik dari sumber listrik ke air yang dielektrolisis. Pada elektrolisis dengan sumber DC, elektroda terbagi menjadi dua kutub yaitu kutub positif dan kutub negatif. Elektroda yang digunakan dalam elektrolisis harus mempunyai konduktivitas listrik dan ketahanan korosi yang baik, sehingga dalam penelitian ini dipilih elektroda stainless steel AISI 316L yang dijual di pasaran.

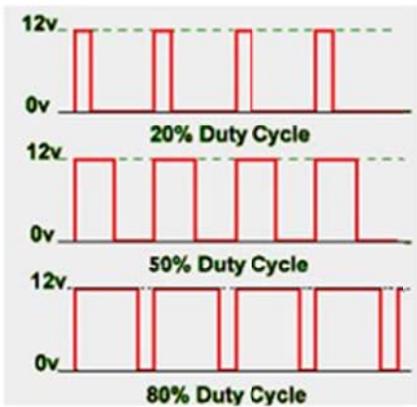
V. KATALIS

Katalis berfungsi sebagai percepat reaksi elektrolisis, senyawa yang digunakan sebagai katalis tidak ikut bereaksi dan tidak menghasilkan produk. Katalis dapat menurunkan energi aktivasi sehingga mampu meningkatkan laju reaksi. Energi aktivasi adalah energi minimum yang dibutuhkan sehingga partikel dapat bertumbukkan dan menghasilkan reaksi. Katalis yang digunakan pada penelitian ini adalah KOH (Kalium Hidroksida).

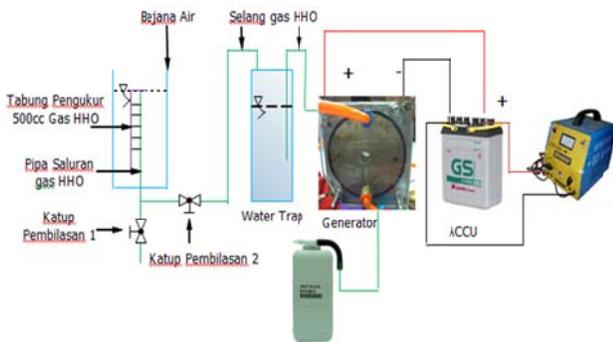
VI. PULSE WIDTH MODULATION (PWM)

Pulse Width Modulation (PWM) adalah sebuah metode pengendalian motor dengan cara mengatur lebar pulsa yang dikirimkan pada frekuensi yang tetap ke motor. Sinyal pengendali hanya berupa sinyal *on* dan *off*. Dengan mengatur perbandingan lamanya sinyal *on* dan *off* yang diberikan, maka dapat diperoleh perubahan kecepatan motor atau yang dikenal dengan *duty cycle*. *Duty cycle* adalah waktu sinyal pada kondisi *on* dibandingkan dengan periode sinyal^[6]. Pada gambar 4 dapat dilihat *duty cycle* yang tervisualisasikan melalui osiloskop, dimana gambar tersebut menunjukkan semakin besar *duty cycle* yang dihasilkan, maka waktu *on* juga semakin lebar sedangkan waktu *off* semakin sempit. Sedangkan semakin kecil *duty cycle* waktu *on* menjadi sempit dan waktu *off* menjadi lebar.

Penggunaan PWM dapat dibuat dengan menggunakan IC Timer 555. IC Timer 555 atau yang biasa dikenal dengan Ne555 merupakan salah satu IC yang memiliki dasar pengendali PWM dengan fitur pengendalian lebar pulsa 0 sampai 100%^[8]. Pembangkit PWM yang dirancang menggunakan IC pewaktu 555 dapat dirangkai sebagai multivibrator astabil yang mampu menghasilkan tegangan pulsa dengan besarnya bergantung dari sumber listrik DC yang digunakan. Tegangan pulsa dari sumber listrik DC yang digunakan tersebut dapat diatur *duty cycle*-nya. *Duty cycle* inilah yang kemudian dijadikan sebagai sinyal PWM. *Duty cycle* sendiri dapat dirumuskan sebagai berikut:



Gambar 4. Penggambaran Duty Cycle [7]



Gambar 5. Skema Pengujian Tanpa PWM

$Duty\ Cycle = \frac{T_{on}}{T_{total}} \times 100\%$ dimana $T_{total} = T_{on} + T_{off}$ atau bisa disebut sebagai periode.

VII. PARAMETER PERFORMA GENERATOR HHO

A. Daya Generator HHO

Perumusan untuk mencari daya yang dibutuhkan sebagai berikut:

$P = v \times I$ (1)

Dimana:

P = Daya generator HHO (Watt)

v = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

B. Laju Produksi Gas HHO

Untuk mencari *flowrate* gas HHO bisa dicari dari persamaan berikut ni:

$\dot{m} = Q/\rho$ (2)

Dimana:

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

Q = Debit produksi gas HHO (m³/s)

ρ = Massa jenis gas HHO (kg/m³)

dengan,

$Q = V/t$ (3)

Dimana:

V = Volume gas terukur (m³)

t = waktu produksi gas (s)

C. Efisiensi Generator HHO

Efisiensi merupakan perbandingan antara energi yang berguna dengan energi yang diberikan pada suatu sistem. Pada penelitian generator HHO ini hasil yang berguna adalah energi teoritis yang digunakan untuk elektrolisis yang berupa entalpi dari penguraian H₂O. Energi yang diberikan adalah energi listrik untuk membuat terjadinya proses elektrolisis yang berasal dari aki, maka untuk menghitung efisiensi generator HHO harus diketahui terlebih dahulu mengenai entalpi penguraian H₂O.

Pada reaksi penguraian air : $H_2O_{(l)} \rightarrow H_{2(g)} + 0,5O_{2(g)}$ = + 285,84 kJ/mol adalah reaksi endoterm yang menghasilkan energi entalpi yang bernilai positif (+). Energi entalpi yang dihasilkan adalah $\Delta h = + 285,84 \times 10^3$ J/mol. Sedangkan energi ikatan yang dibutuhkan adalah melalui penurunan persamaan gas ideal pada kondisi STP:

$pV = nRT$ (4)

Dimana:

p = Tekanan Gas ideal (1 atm)

V= Volume gas terukur (L)

n = Molaritas senyawa (mol)

\bar{R} = Konstanta Gas ideal (8,314 J/mol.K)

T=Temperatur (298K)

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.

$p\dot{V} = \dot{n}\bar{R}T$ (5)

Dimana:

\dot{V} = Volume gas per waktu (m³/s)

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

maka,

$\eta = \Delta h \dot{d} / P$ (6)

Dengan:

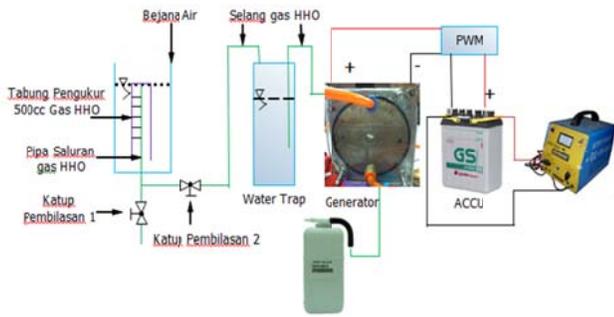
$\Delta h \dot{d}$ = Entalpi penguraian air (kJ/mol)

VIII. METODOLOGI

Langkah-langkah pengujian laju produksi gas HHO sebagai berikut:

1) Pengujian tanpa menggunakan PWM:

- a. Mempersiapkan pengujian seperti Gambar 5.
- b. Mengukur dan mencatat temperatur awal larutan elektrolit (30°C).
- c. Pengambilan data waktu produksi 500 ml gas HHO dilakukan dengan menyambungkan kabel dari generator HHO ke aki.
- d. Menekan tombol START pada stopwatch dan menunggu hingga *flowrate* gas HHO mencapai 500 ml.
- e. Menghentikan penghitungan waktu pada stopwatch ketika garis batas *flowmeter* pada angka 500 ml, kemudian mencatat waktu kerja alat saat mencapai 500 ml, waktu produksi gas HHO di *flowmeter*, arus dan suhu akhir yang didapat.
- f. Apabila suhu larutan elektrolit mencapai 93°C maka pengujian dihentikan.
- g. Setelah selesai pengujian, mengukur volume elektrolit yang tersisa.



Gambar 6. Skema Pengujian Menggunakan PWM

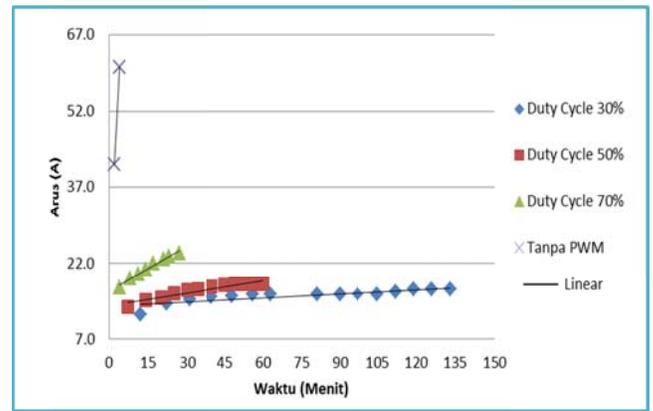
2) Pengujian dengan menggunakan PWM

- a. Mempersiapkan pengujian seperti Gambar 6.
- b. Menyetel PWM pada *duty cycle* 30% dengan cara memutar knob potensiometer 50k.
- c. Mengukur dan mencatat temperatur awal larutan elektrolit (30°C).
- d. Menyalakan sistem dengan cara menyambungkan kabel-kabel ke aki.
- e. Menekan tombol START pada stopwatch dan menunggu hingga *flowrate* gas HHO mencapai 500 ml.
- f. Menghentikan penghitungan waktu pada stopwatch ketika garis batas *flowmeter* pada angka 500 ml, kemudian mencatat waktu kerja alat saat mencapai 500 ml, waktu produksi gas HHO di *flowmeter*, arus, dan suhu akhir yang didapat.
- g. Apabila suhu larutan elektrolit mencapai 93°C maka pengujian dihentikan.
- h. Setelah selesai pengujian, mengukur volume elektrolit yang tersisa.
- i. Mengulangi langkah b-i dengan mengganti larutan elektrolit baru dan mengatur PWM pada *duty cycle* 50% dan 70%.

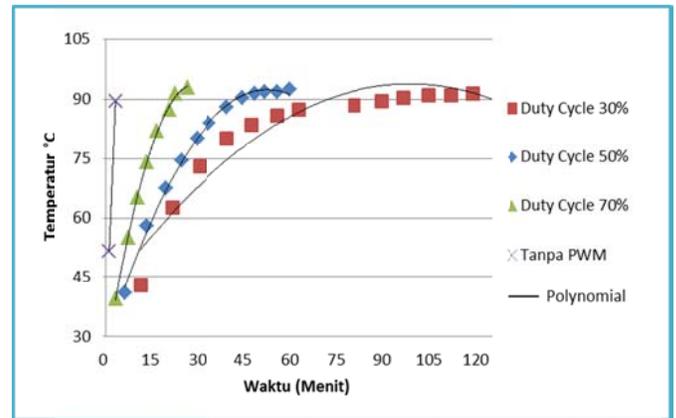
IX. ANALISA DATA

A. Arus dan Temperatur Generator HHO

Pada gambar 7 diketahui bahwa tren semua grafik cenderung meningkat. Namun, grafik tanpa PWM mengalami peningkatan yang tajam yaitu dari 41,45A ke 60,6A, sedangkan grafik menggunakan PWM peningkatan arus lebih stabil. Kestabilan arus pada pengujian menggunakan PWM berhenti pada 16,9A untuk *duty cycle* 30%, 17,9A pada *duty cycle* 50% dan 24,05A dengan *duty cycle* 70%. Hal tersebut terjadi karena dengan penggunaan PWM dapat diatur berapa lama arus *on* atau *off* (berupa *duty cycle*) yang digunakan untuk mengelektrolisa air. Semakin besar *duty cycle*, maka semakin lama arus *on* yang diberikan ke generator, begitu juga sebaliknya. Efek dari arus listrik yang semakin besar menyebabkan pergerakan ion-ion tersebut akan semakin cepat. semakin cepat pergerakan ion-ion akan menimbulkan gesekan



Gambar 7. Grafik Arus Fungsi Waktu

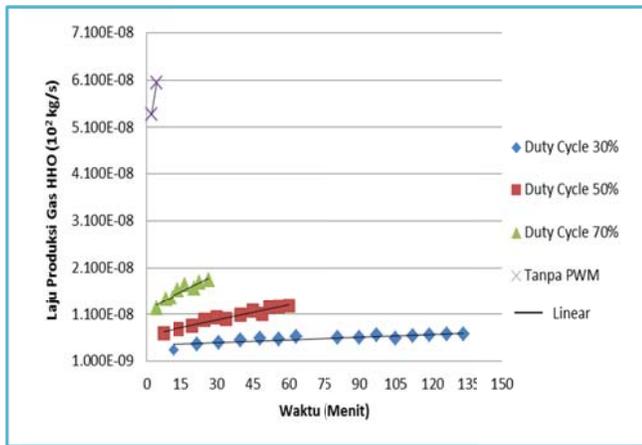


Gambar 8. Grafik Temperatur Fungsi Waktu

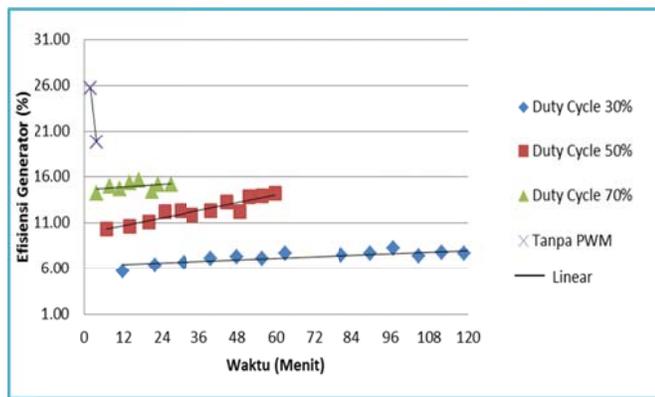
antar ion yang semakin besar, sehingga berefek pada temperatur larutan elektrolit juga tinggi

Gambar 8 memperlihatkan bahwa tren semua grafik meningkat seiring dengan bertambahnya waktu. Kenaikan temperatur yang drastis diperoleh dari pengujian tanpa menggunakan PWM yaitu dari 51,5°C sampai 89,5°C, sehingga hanya bisa diambil dua data dalam sekali percobaan. Sedangkan pengujian dengan menggunakan PWM, terlihat tren grafik yang meningkat dengan stabil. Namun, peningkatan tertinggi pada grafik dengan PWM diperoleh pada pengujian menggunakan *duty cycle* 70%. Peningkatan pada pengujian dengan PWM disebabkan karena dengan PWM dapat diatur berapa lama arus yang masuk ke generator HHO. Pengaturan *duty cycle* ini juga berpengaruh pada berapa kali pengambilan data bisa dilakukan. Terlihat bahwa semakin kecil *duty cycle* yang digunakan, semakin banyak data yang didapat, hal itu berarti waktu pengambilan data juga lama.

Kenaikan temperature terjadi dikarenakan arus untuk melakukan proses elektrolisis semakin besar. Dengan nilai arus yang semakin besar maka energi per detik untuk melakukan proses elektrolisis semakin besar nilainya. Energi per detik yang besar ini menyebabkan jumlah anion dan kation yang terbentuk semakin banyak. Dengan penambahan anion dan kation yang semakin banyak, maka gesekan yang terjadi antar ion akan meningkat dan gesekan inilah yang menimbulkan panas yang semakin lama juga semakin meningkat. Akan tetapi, semakin lama suatu larutan bereaksi menyebabkan kondisi larutan semakin jenuh.



Gambar 9. Grafik Laju Produksi Fungsi Waktu



Gambar 10. Grafik Efisiensi Fungsi Waktu

B. Laju Produksi Gas HHO

Pada gambar 9 terlihat bahwa tren grafik untuk semua pengujian mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya waktu. Laju produksi terbesar diperoleh pada pengujian tanpa PWM yang bernilai $6,033 \times 10^{-6}$ kg/s. Pengujian dengan menggunakan PWM yang terbesar diperoleh dengan pengujian *duty cycle* 70% yang bernilai $1,843 \times 10^{-6}$ kg/s. Seperti yang telah dijelaskan bahwa penggunaan PWM dapat membuat kestabilan arus yang diberikan ke generator karena arus yang diberikan dirubah menjadi pulsa kotak. Namun, laju produksi gas yang dihasilkan juga cenderung rendah karena waktu produksi gas HHO semakin lama

Faktor temperatur juga bisa mempengaruhi laju reaksi, larutan dengan temperatur yang lebih tinggi memiliki tingkat laju reaksi yang lebih besar. Hal ini disebabkan temperatur akan memberikan kemudahan dalam pergerakan ion-ion sehingga reaksi bisa berlangsung lebih cepat. Faktor lainnya yang mempengaruhi kecepatan reaksi adalah kepekatan larutan. Larutan elektrolit mengandung ion berfungsi untuk menghantarkan arus listrik.

C. Efisiensi Generator HHO

Pada gambar 10 menunjukkan bahwa tren grafik meningkat seiring dengan bertambahnya waktu. Namun, pada pengujian tanpa PWM mengalami penurunan efisiensi. Efisiensi terbesar

ada pada pengujian tanpa PWM yang bernilai 25.69% dan pengujian dengan PWM yang terbesar diperoleh pada *duty cycle* 70% yaitu 15,19%. Efisiensi terendah diperoleh pada *duty cycle* 30% dengan nilai 7,93%.

Penurunan efisiensi generator HHO pada pengujian tanpa PWM dari 25,69% ke 19,74% dapat diakibatkan karena lonjakan arus yang diberikan sumber listrik terlalu tinggi. Lonjakan arus tersebut bisa berefek pada reaksi elektrolisa, yaitu arus yang diberikan selain untuk menghasilkan gas HHO juga untuk mendidihkan air, sehingga efisiensi cenderung menurun. Berbeda dengan pengujian menggunakan PWM yang mana arus dihasilkan cenderung stabil, sehingga efisiensi generator HHO juga meningkat dengan stabil, meskipun hasil efisiensi dari generator lebih rendah daripada pengujian tanpa menggunakan PWM.

X. KESIMPULAN

Pada penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa pengujian tanpa menggunakan PWM mampu menghasilkan efisiensi dan laju produksi terbesar mencapai 25,69% dan $6,033 \times 10^{-6}$ kg/s, namun temperatur elektrolit generator melonjak drastis, sehingga hanya dua data saja yang bisa diambil. Penambahan PWM memberikan pengaruh terhadap hasil yang stabil terjadi pada arus dan temperatur, akan tetapi efisiensi dan laju produksi gas lebih kecil daripada pengujian tanpa PWM. Pengujian dengan menggunakan PWM menghasilkan laju produksi dan efisiensi tertinggi pada *duty cycle* 70% yang mencapai $1,843 \times 10^{-6}$ kg/s dan 15,19%, sedangkan efisiensi terkecil pada *duty cycle* 30% yang mencapai 7,93% dengan laju produksi gas $6,763 \times 10^{-7}$ kg/s. Pengujian pada *duty cycle* 50% menghasilkan efisiensi yang mencapai 14,19% dengan laju produksi gas $1,28 \times 10^{-6}$ kg/s.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penghargaan dan ucapan terima kasih ditujukan kepada Prof. Dr. Ir. H. D. Sungkono K., M.Eng.Sc, teman-teman seperjuangan yaitu Brilliyano A. P “ondel”, Ratih Novie A., Yanur A. G., Wardiyanto, Yahya A. yang telah membantu dalam penelitian HHO dan pemberi dana yang juga membantu melancarkan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gunawan Erri, “Tinjauan Produksi Gas HHO dari 4 Jenis Elektroda Stainless Steel”. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin - Fakultas Teknologi Industri – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (2011)
- [2] Akbar P. Rizky, “Komparasi Penggunaan Generator HHO Sumber Arus Searah (DC) dengan Sumber Arus Bolak-Balik (AC) pada Engine Supra X 125 PGM-FI”. Surabaya: Surabaya: Jurusan Teknik Mesin - Fakultas Teknologi Industri – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (2011)
- [3] Satriwahyuni. (2013, Maret). “Reaksi Elektrolisis dan Hukum Faraday”. Available: <http://www.satriwahyuni.wordpress.com>
- [4] H. Areta. (2013, Maret). “Elektrolisis Air”. Avilable: <http://www.gas-hho.blogspot.com>
- [5] McMurry, J. Robert. C, “Chemistry”. New Jersey: Prentice-Hall (2001)
- [6] Pujo S. Ribut, “Alat Penghemat Energi Listrik Untuk Penerang Ruang dengan Sensor Peka Cahaya Berbasis Mikrokontroler”. Jakarta: Universitas Gunadarma (2012)
- [7] Nugroho S. Adjie, “Perancangan dan Implementasi DC to DC Konverter sebagai Driver Motor DC Kapasitas 200 Volt 9 Ampere dengan Metode Pulse Width Modulation”. Bandung: IT Telkom (2011)

- [8] Hamdi. (2013, Juli). "Mengenai IC Timer 555". Available:
<http://www.hamdi88.wordpress.com>.