

**PENGARUH PENGGUNAAN *PULSE WIDTH*
MODULATION (PWM) TERHADAP UNJUK KERJA
GENERATOR ELEKTROLISIS PENGHASIL GAS
HIDROGEN**

Naskah Publikasi Jurnal



Diajukan oleh :

KARYADI
5115102587

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
[2016]**

Naskah Jurnal Skripsi

PENGARUH PENGGUNAAN *PULSE WIDTH MODULATION* (PWM) TERHADAP
UNJUK KERJA GENERATOR ELEKTROLISIS PENGHASIL GAS HIDROGEN

diajukan oleh :

Karyadi
5115102587

Telah disetujui oleh :

NAMA DOSEN

TANDA TANGAN

TANGGAL

Drs. Duryanto, M.T.
(Dosen Pembimbing 1)



9/02-2016

Mochammad Djaohar, S.T., M.Sc.
(Dosen Pembimbing 2)



9/02-2016

PENGARUH PENGGUNAAN PULSE WIDTH MODULATION (PWM) TERHADAP UNJUK KERJA GENERATOR ELEKTROLISIS PENGHASIL GAS HIDROGEN

¹Karyadi

¹Mahasiswa

Program Studi S1 Pendidikan Teknik Elektro

Universitas Negeri Jakarta

Email : karyadi07 @gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan Pulse Width Modulation (PWM) terhadap unjuk kerja generator elektrolisis. Dimana pada Generator Elektrolisis tanpa PWM yang terhubung langsung ke sumber listrik arus searah atau battery, membuat kenaikan suhu generator elektrolisis menjadi cepat panas terhadap waktu. Penelitian dilakukan di laboratorium Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta. Penelitian dilakukan selama enam bulan yaitu dari bulan September 2015 sampai bulan Januari 2016, dengan menggunakan metode eksperimen laboratorium. Generator elektrolisis adalah tipe dry cell dengan dimensi 45 mm x 60 mm. Elektroda terbuat dari bahan stainless steel 316 L. Sinyal PWM bersumber dari Arduino UNO R3. Sensor suhu pada ruang generator elektrolisis menggunakan transduser termokopel tipe-K. Dan sumber listrik yang digunakan adalah battery dengan kapasitas 60 Ah.

Hasil penelitian menunjukkan, bahwa generator elektrolisis yang menggunakan PWM, mengalami kenaikan suhu tidak terlalu cepat seperti yang terjadi pada generator elektrolisis tanpa menggunakan PWM. Dimana suhu generator tanpa PWM dalam waktu 13 menit mencapai 72,7^oC, sedangkan generator elektrolisis menggunakan PWM dalam waktu 13 menit suhunya mencapai 37,4^oC, 42,0^oC, dan 44,0^oC. Generator dengan menggunakan PWM, pada duty cycle 50 % efisiensi rata-rata sebesar 39,9 %, pada duty cycle 75 % efisiensi rata-rata sebesar 32,1 %, dan pada duty cycle 90 % efisiensi rata-rata sebesar 28,9 %. Efisiensi rata-rata generator elektrolisis tanpa PWM yaitu sebesar 22,1%. Volume gas yang dihasilkan generator elektrolisis menggunakan PWM pada duty cycle 50 %, 75 %, dan 90 %, masing-masing menghasilkan volume rata-rata sebesar 26,9 ml/menit, 40 ml/menit, dan 44,6 ml/menit. Sedangkan generator elektrolisis tanpa PWM menghasilkan volume gas rata-rata sebesar 79,2 ml/menit.

Kata kunci : PWM (Pulse Width Modulation), Generator Elektrolisis, Hydrogen, Energi Alternatif

PENDAHULUAN

Upaya untuk mengatasi krisis bahan bakar fosil adalah dengan menggunakan energi alternatif dan energi terbarukan. Energi alternatif adalah energi yang memiliki potensi untuk digunakan sebagai pengganti bahan bakar konvensional. Energi terbarukan adalah energi yang dapat dihasilkan secara terus-menerus (*renewable*) dan sebagai proses alami. Jenis energi alternatif dan terbarukan yang sedang berkembang untuk menggantikan energi konvensional saat ini yaitu tenaga nuklir, biomassa, gas alam, tenaga air, tenaga angin, gelombang laut, matahari, dan pasang surut.

Penggunaan air sebagai energi alternatif telah banyak diteliti. Tenaga air yang dihasilkan dari perbedaan potensial dapat digunakan sebagai sumber energi penggerak turbin. Selain itu ada potensi lain yang dapat digunakan dari kandungan air yaitu hidrogen. Hidrogen adalah unsur kimia pada tabel periodik yang memiliki simbol "H" dan memiliki nomor atom 1. Unsur hidrogen terdapat di alam sebanyak 75% dari total massa unsur alam semesta. Pada suhu dan tekanan standar, hidrogen bersifat non-logam dan merupakan gas diatomik yang sangat

mudah terbakar. Senyawa hidrogen jarang dijumpai secara alami di bumi, dan biasanya dihasilkan secara industri dari berbagai senyawa hidrokarbon. Selain itu hidrogen juga dapat dihasilkan melalui proses elektrolisis. Sifat hidrogen yang mudah terbakar, maka dapat digunakan sebagai bahan bakar dan juga dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik dengan menggunakan fuel cell.

Pembakaran satu gram hidrogen pada suhu 25^oC dan dengan tekanan 1 atmosfer akan menghasilkan kalor sebesar 120,91 kJ. Sedangkan pembakaran pada satu gram bensin pada suhu 25^oC dan tekanan 1 atmosfer, akan dihasilkan kalor sebesar 48,33 kJ. Perbandingan antara satu gram bensin dan satu gram hidrogen yaitu satu gram hidrogen dapat menghasilkan kalor tiga kali lipat dari kalor yang dihasilkan oleh pembakaran satu gram bensin. Keuntungan lain dari penggunaan hidrogen sebagai bahan bakar adalah dapat mengurangi emisi gas buang karbondioksida (Eddy Ariffin, 2010). Santin J.J, et.al. (2007:9) dalam bukunya "*The World's Most Fuel Efficient Vehicle, Design and Development of PAC-CAR II*" menyatakan bahwa konsumsi 1,02

hidrogen setara dengan 3,8397 ml bensin untuk menempuh jarak 20,678 Km.

Metode yang digunakan untuk memproduksi gas hidrogen sebagai bahan pembakaran salah satunya adalah dengan metode elektrolisis air. Alat untuk menghasilkan gas hidrogen dengan cara elektrolisis disebut dengan generator gas HHO (H_2 dan Oksigen) . Dengan metode elektrolisis air, proses yang dilakukan tidak menghasilkan limbah dan polusi terhadap lingkungan sekitar. Selain itu gas hidrogen yang diproduksi tidak perlu ditampung pada tabung penyimpanan gas, sebab gas hidrogen akan ada ketika diperlukan, yaitu ketika alat elektrolisis atau generator elektrolisis diaktifkan. Generator elektrolisis memiliki dua tipe yaitu *wet cell* dan *dry cell*. *Wet cell* adalah generator gas HHO yang elektrodanya terendam di dalam elektrolit dalam sebuah bejana air. *Dry Cell* adalah generator gas HHO yang elektrodanya tidak terendam elektrolit.

Proses elektrolisis untuk menghasilkan gas HHO dapat dilakukan dengan cara menempatkan plat konduktor pada wadah air. Kemudian plat konduktor dihubungkan langsung dengan sumber arus dc yang terdiri kutub positif dan kutub negatif. Plat konduktor yang terhubung dengan kutub positif berlaku sebagai anoda dan plat konduktor yang terhubung dengan kutub negatif berlaku sebagai katoda. Melalui cara seperti ini yaitu menghubungkan langsung dengan sumber tegangan dc, gas hidrogen dapat dihasilkan, namun semakin lama terjadi peningkatan suhu air yang digunakan untuk elektrolisis. Akibat panas ini, maka akan timbul uap air dan gas hidrogen akan tercampur dengan uap tersebut. Sehingga akan menurunkan kualitas gas hidrogen.

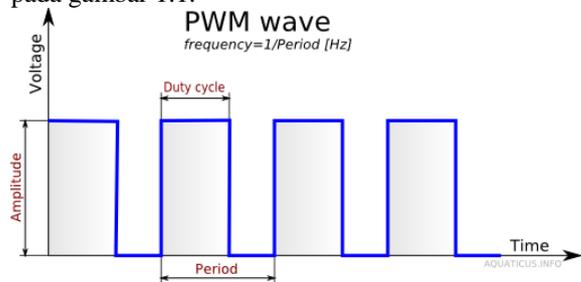
Kenaikan temperatur pada generator gas hho terjadi karena adanya penambahan pertambahan besarnya arus terhadap waktu¹. Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis unjuk kerja generator gas HHO tanpa menggunakan PWM dan generator gas HHO dengan menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM). *Pulse Width Modulation* (PWM) adalah rangkaian elektronik untuk menghasilkan sinyal analog yang berbentuk pulsa dengan menggunakan proses digital, sehingga dapat mengatur tegangan yang akan digunakan pada beban. Dengan menggunakan PWM maka tegangan dan arus dapat dikendalikan. Melalui penelitian ini akan dianalisa apakah terdapat pengaruh penggunaan PWM pada generator elektrolisis.

Dari latar belakang yang telah diuraikan, adapun tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui karakteristik generator elektrolisis tipe *dry cell* dengan menggunakan PWM dan generator elektrolisis tipe *dry cell* tanpa menggunakan PWM.

KAJIAN TEORITIK

Pulse Width Modulation

Pulse Width Modulation disingkat PWM adalah suatu teknik untuk menghasilkan bentuk sinyal analog yang berbentuk pulsa (pulse) dengan menggunakan proses digital. PWM juga dikenal dengan PDM atau Pulse Duration Modulation dikarenakan sinyal yang dihasilkan berbentuk pulsa yang dapat diatur lebar dan sempitnya sinyal tersebut dengan memanipulasi durasi sinyalnya. Kelebihan penggunaan PWM dibanding dengan penguatan linier yaitu PWM menggunakan sinyal biner (digital) sehingga pengendalian dapat dilakukan oleh pengendali digital tanpa memerlukan DAC (Digital to Analog Conversion). Pada PWM, transistor bekerja hanya pada mode operasi saturasi dan cut off, maka hanya sedikit kerugian daya berupa panas². Bentuk pulsa yang dibangkitkan oleh PWM dapat dilihat pada gambar 1.1.



Gambar 1. 1. Bentuk Pulsa PWM

PWM pada dasarnya hanya memiliki dua kondisi pada sinyal PWM yaitu sinyal aktif (1) dan sinyal non-aktif (0). Sinyal aktif terjadi saat mencapai puncak amplitudo dan menjadi non-aktif saat mencapai titik bawah sinyal. Parameter yang ada pada gambar 2.1 dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Duty Cycle. Duty Cycle adalah perbandingan antara waktu ketika sinyal mencapai kondisi ON dan ketika mencapai OFF dalam satu periode sinyal. Contoh misalkan suatu sinyal PWM memiliki duty cycle sebesar 75% maka itu berarti bahwa sebanyak 75% dari waktu periode sinyal merupakan sinyal aktif (ON) dan 25% sisanya adalah sinyal nonaktif (OFF).
2. Periode. Satu periode sinyal adalah satu satuan waktu yang ditetapkan di awal. Nilainya dapat ditentukan sendiri tergantung kebutuhan sinyal yang diinginkan. Namun, sebagian besar perancang menentukan nilainya pada orde milisekon (ms).
3. Amplitudo. Besar nilai sinyal saat mencapai keadaan aktif.

¹ Ghifari, Yannuar Arzaqa, *Studi Karakteristik Generator Gas HHO Tipe Dry Cell dan Wet Cell*, Jurnal Teknik POMITS, Surabaya, 2013, hlm.2.

² Ribut Pujo S., *Alat Penghemat Energi Listrik untuk Penerangan Ruangan pada Sensor Peka Cahaya Berbasis Mikrokontroler*, <http://publication.gunadarma.ac.id/bitstream/123456789/1329/1/21107434.pdf> (Diakses 20 September 2015)

4. Frekuensi. Sinyal yang dihasilkan akan memiliki frekuensi tertentu yang akan dipergunakan untuk menentukan periode dari sinyal dengan hubungan : $f=1/T$, dengan f adalah frekuensi (Hz) dan T adalah periode (sekon).

Satu periode sinyal PWM terdapat keadaan ketika sinyal dalam keadaan aktif (1) dan keadaan non-aktif (0). Oleh karena itu dalam satu waktu T , nilai periodenya dapat dibagi ke dalam waktu aktif (T_{on}) dan waktu non-aktif (T_{off}). Dengan waktu T_{on} dan T_{off} dapat diperoleh nilai *duty cycle* (D) sistem. Perhitungannya sebagai berikut :

$$D = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}}$$

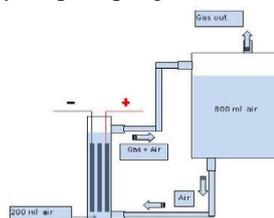
Tegangan keluaran yang dihasilkan pada PWM dapat dibuat bervariasi dengan cara mengubah *duty cycle* yang hubungannya sebagai berikut :

$$V_{out} = D \times V_{in}$$

Generator Elektrolisis

Generator elektrolisis merupakan perangkat atau sistem yang dapat menghasilkan gas hidrogen dan oksigen atau disebut juga HHO. HHO adalah singkatan untuk H_2O , yang artinya memiliki dua molekul hidrogen dan satu molekul oksigen. Perangkat generator elektrolisis HHO terdiri dari tabung reaktor yang di dalamnya terdapat sepasang elektroda dan elektrolit. Sumber listrik yang digunakan pada generatorelektrolisis HHO yaitu sumber listrik arus searah (DC) yang berasal dari baterai ataupun accumulator. Generator ini bekerja dengan prinsip elektrolisa air. Generator eletrolisis terdapat dua tipe yaitu *wett cell* dan *dry cell*. Pada penelitian ini generator elektrolisis yang digunakan adalah tipe *dry cell*.

Dry Cell adalah pembangkit gas hidrogen yang elektrodanya tidak terendam elektrolit. Sistemnya dengan membuat air (water reservoir) sebagai bahan baku terpisah dengan tempat terjadinya elektrolisis air. *Water reservoir* dibuat sebagai penampungan air biasa dan tidak ada sistem rumit di dalamnya seperti pengontrolan dan sebagainya.



Gambar 1. 2. Generator Elektrolisis Tipe Dry Cell

Prinsip Kerja Generator Elektrolisis

Generator elktrolisis bekerja berdasarkan prinsip eletkrolisis air. Elektrolis merupakan proses kimia yang merubah energi listrik menjadi energi kimia atau proses dekomposisi dalam suatu elektrolit oleh arus listrik. Elektrolisis air adalah proses untuk menghasilkan gas Hidrogen (H_2) dan Oksigen (O_2) dengan pemanfaatan energi listrik pada sistem, yaitu

menggunakan sumber arus listrik searah (DC). Arus searah dialirkan pada elektroda yang terdiri dari elektroda positif dan elektroda negatif. Elektroda positif adalah plat konduktor yang diberi tegangan positif dan elektroda negatif adalah plat konduktor yang diberi tegangan negatif. Proses elektrolisis ditemukan oleh Faraday tahun 1820. Persamaan kimia elektrolisa air adalah sebagai berikut :



Hukum Faraday

Michael Faraday pada awal 1830-an menemukan bahwa larutan tertentu dapat segera menghantarkan arus listrik. Ia menamakan larutan tersebut sebagai larutan elektrolit dan aliran listrik yang mengalir dalam larutan elektrolit disebut elektrolisis. Faraday menemukan hubungan antara massa yang dibebaskan atau diendapkan dengan arus listrik (Putra, 2010). Hubungan ini dikenal dengan Hukum Faraday 1: *Jumlah berat (massa) zat yang dihasilkan (diendapkan) pada elektroda sebanding dengan jumlah muatan listrik (Coulumb) yang dialirkan melalui larutan elektrolit tersebut.* Sehingga massa yang diendapkan dari proses elektrolisis adalah sebagai berikut :

$$G = \frac{Mr}{z} \times \frac{i.t}{96500}$$

Dimana :

- $\frac{Mr}{z}$ = massa ekuivalen (Me)
- I = kuat arus (ampere)
- t = waktu (sekon)
- z = muatan ion L (biloks)

Untuk menghitung volume gas hidrogen dapat mensubtitusi persamaan gas ideal dengan persamaan hukum Faraday. Sehingga volume hidrogen dan oksigen dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

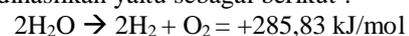
$$V = \frac{I . t . R . T}{z . F . P}$$

Dimana :

- V = Volume gas (L)
- I = Arus Listrik pada kondisi percobaan (Ampere)
- t = Waktu (s)
- R = Konstanta Gas Universal (0,08205 L atm/mol K)
- T = Suhu pada kondisi percobaan ($^{\circ}C + 273,15^{\circ} K$)
- z = jumlah elektron yang terlibat (2 untuk H_2 dan 4 untuk O_2)

Efisiensi Generator Elektrolisis

Dalam elektrolisis satu mol air akan dihasilkan satu mol gas hidrogen dan setengah mol gas oksigen. Proses pertukaran energi untuk satu mol air akan menghasilkan energi entalpi yang bernilai positif karena reaksinya adalah endoterm. Energi entalpi yang dihasilkan yaitu sebagai berikut :



Maka energi ikatan elektrolisis adalah sebagai berikut :

$$\text{Energi Ikatan total} = \Delta h . n$$

$$P . V = n . R . T \rightarrow n = \frac{P . V}{R . T}$$

$$\text{Energi Ikatan total} = \Delta h \cdot \frac{P.V}{R.T}$$

Dari persamaan diatas, efisiensi energi dapat dihitung sebagai berikut :

$$\eta = \frac{\text{energi teoritis yang digunakan untuk elektrolisis}}{\text{energi aktual elektrolisis}} \times 100\%$$

$$= \frac{\Delta h \cdot \frac{P.V}{R.T}}{(U.I)} \times 100\%$$

Dimana :

P = Tekanan gas ideal (atm)

V = Volume gas terukur (L/s)

n = molaritas senyawa (mol)

R = Konstanta Gas Universal (0,08205 L atm/mol K)

T = Temperatur, ($^{\circ}\text{C} + 273,15^{\circ}\text{K}$)

U = Tegangan (Volt)

I = Arus (Amper)

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik - Universitas Negeri Jakarta. Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan September 2015 sampai Januari 2016.

Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan PWM pada generator elektrolisis tipe *dry cell*. Menurut (Sugiyono, 2012) penelitian eksperimen dapat diartikan sebagai metodologi penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi terkendali. Adapun yang menjadi variabel penelitian ini yaitu :

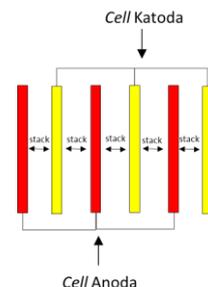
- Variabel Bebas : Penggunaan PWM dan Tanpa PWM pada Generator elektrolisis.
- Variabel Kontrol : Konsentrasi larutan elektrolit yang digunakan pada generator elektrolisis dengan penggunaan PWM dan tanpa PWM yaitu sebesar 0,1 % (1000 ml air ditambah 1 gram KOH).
- Variabel Terikat : Unjuk Kerja Generator Elektrolisis meliputi : Suhu, Volume gas, Daya, Arus, dan Efisiensi.

Berdasarkan perhitungan dalam sebuah penelitian (M. Ahsan Ilhamy, 2013) tegangan yang dibutuhkan untuk proses elektrolisis air menjadi gas hidrogen dan oksigen 1,967 volt untuk 1 cell. Menurut *Bob Boyce*, rentang tegangan listrik yang diperbolehkan antar cell pada generator elektrolisis yaitu 2,0 sampai 3,0 volt agar tidak terjadi panas yang berlebih pada generator elektrolisis. Faraday mengatakan bahwa tegangan minimum untuk efisiensi elektrolisis adalah 1,24 volt. Pada desain generator elektrolisis yang akan dibuat, tegangan antar cell atau antar katoda dan anoda adalah 2 volt. Tegangan minimum yang diperlukan antar cell sangat dipengaruhi oleh elektrolit yang akan digunakan.

Pada generator elektrolisis yang akan dibuat, digunakan sumber tegangan sebesar 12 Volt. Maka

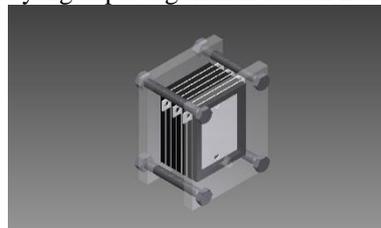
dapat ditentukan berapa cell yang dibutuhkan dalam generator tersebut, yaitu :

$$\text{Jumlah Cell} = \frac{\text{Tegangan Sumber}}{2 \text{ volt}} = \frac{12}{2} = 6 \text{ buah cell}$$



Gambar 1. 3. Konfigurasi Sel Generator Elektrolisis

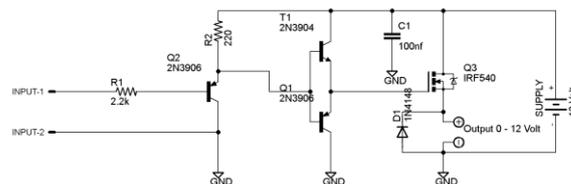
Menurut Eddy Ariffin (2013) diacu dalam M. Ahsan Ilhamy (2014:19) bahwa sumber arus DC sebesar 1 ampere hanya dapat mencakup luasan plat 40mm². Dengan arus sebesar 7 ampere, maka luas elektroda yang dapat digunakan adalah 280mm².



Gambar 1. 4. Desain Generator Elektrolisis

Rancangan PWM

PWM pada generator elektrolisis digunakan untuk mengatur tegangan pada cell generator agar temperature pada generator dapat dikendalikan. Bentuk tegangan adalah gelombang persegi dan berupa pulsa. PWM dibuat berbasis mikrokontroler Arduino UNO dengan komponen mosfet IRFP540, transistor 2n3904 dan 2n3906. Dimana gelombang PWM yang dibangkitkan dari arduino akan menjadi signal input pada rangkaian driver mosfet. Berikut ini rangkaian driver mosfet :



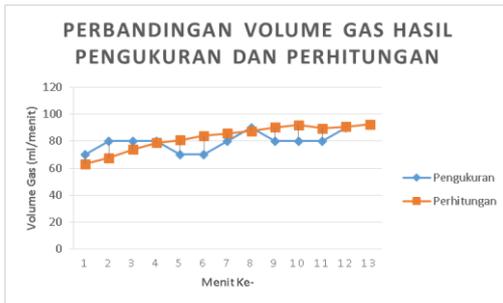
Gambar 1. 5. Rangkaian Driver PWM

Analisa Data

Analisa data dilakukan dengan membandingkan data hasil pengujian dan data hasil perhitungan. Data hasil pengujian yaitu berupa arus, tegangan, daya, volume gas, dan suhu. Dari data hasil pengujian kemudian diolah dengan persamaan hukum faraday dan gas ideal, sehingga menghasilkan data hasil perhitungan.

HASIL PENELITIAN

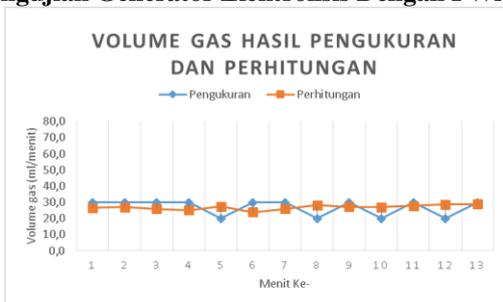
Pengujian Generator Elektrolisis Tanpa PWM



Gambar 1. 6. Hasil Volume Gas Pengujian dan Perhitungan Tanpa PWM

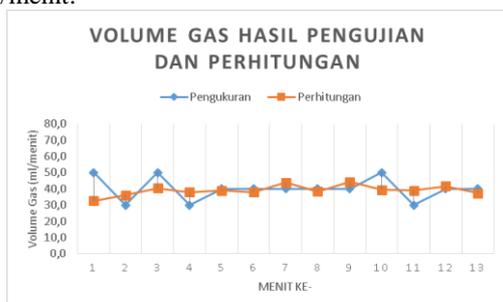
Dari hasil perhitungan volume gas yang dihasilkan terhadap waktu cenderung mengalami kenaikan. Sedangkan berdasarkan pengukuran volume gas tidak stabil mengalami. Rata-rata volume gas hasil perhitungan adalah sebesar 82, ml/mentit dan rata-rata volume gas hasil pengujian adalah 79.2 ml/mentit.

Pengujian Generator Elektrolisis Dengan PWM



Gambar 1. 7. Hasil Volume Gas pada Pengujian Generator Elektrolisis Duty Cycle 50%

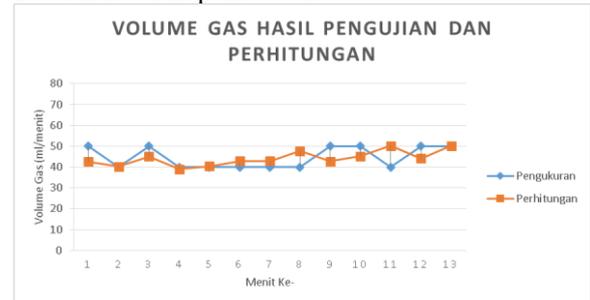
Dengan duty cycle PWM sebesar 50%, arus yang mengalir terlihat stabil yaitu rata-rata sebesar 2,3 A. Volume gas HHO yang dihasilkan selama 13 menit adalah 350 ml. Rata-rata Volume gas HHO yang dihasilkan selama 1 menit yaitu sebesar 26,9 ml. Suhu fluida pada generator elektrolisis selama 13 menit naik secara perlahan mencapai 37,4 °C. Dari hasil perhitungan, volume gas cenderung stabil, rata-rata gas yang dihasilkan berdasarkan hasil perhitungan adalah 26,9 ml/mentit. Sedangkan volume gas hasil yang dihasilkan berdasarkan pengukuran mengalami naik – turun dan rata-rata volume gas yang dihasilkan adalah sebesar 26,9 ml/mentit.



Gambar 1. 8. Hasil Volume Gas pada Pengujian Generator Elektrolisis Duty Cycle 75%

Hasil pengujian generator elektrolisis menggunakan PWM dengan *duty cycle* sebesar 75%,

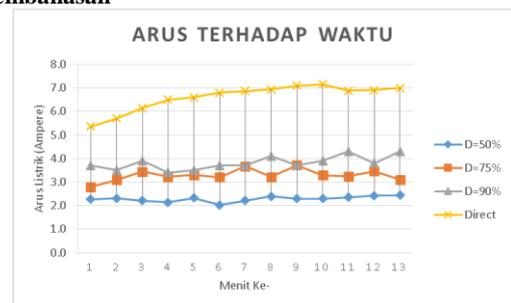
rata-rata arus yang digunakan adalah 3,3 Amper. Kenaikan suhu fluida selama 13 menit adalah mencapai 42,0 °C. Total volume gas HHO yang dihasilkan selama 13 menit sebesar 520 ml. Pada hasil pengujian, rata-rata volume yang dihasilkan per menit adalah 40 ml/mentit. Sedangkan berdasarkan perhitungan rata-rata gas yang dihasilkan dalam waktu per menit adalah 39,1 ml/mentit. Volume gas lebih besar hasil pengujian dari pada hasil perhitungan, hal ini dapat terjadi karena disebabkan oleh ketelitian alat ukur yang digunakan dan kesalahan dalam pembacaan.



Gambar 1. 9. Hasil Volume Gas pada Pengujian Generator Elektrolisis Duty Cycle 90%

Pada pengujian generator elektrolisis dengan *duty cycle 90%*, rata-rata arus yang digunakan adalah 3,8 A. Kenaikan suhu fluida pada ruang generator elektrolisis selama 13 menit yaitu sebesar 44°C. Volume gas HHO yang dihasilkan per menit, rata-rata sebesar 44,6 ml/mentit dan total gas HHO yang dihasilkan adalah 580 ml. Berdasarkan perhitungan rata-rata volume gas yang dihasilkan adalah sebesar 44,1 ml/mentit.

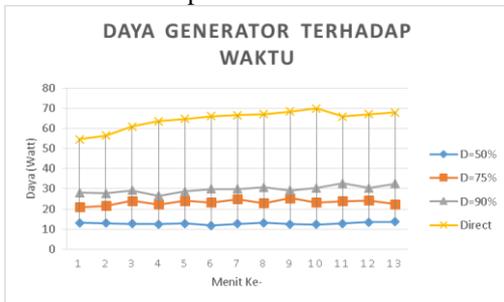
Pembahasan



Gambar 1. 10. Grafik Hubungan Arus Terhadap Waktu

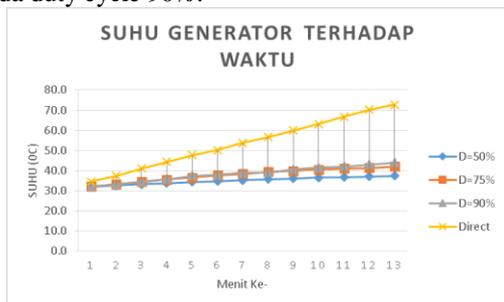
Pada gambar 1.10 terlihat ketika pengujian Generator elektrolisis tanpa PWM, arus yang digunakan sangat besar yaitu dapat mencapai 7,2 Amper dan cenderung mengalami kenaikan. Sesuai dengan hukum Faraday jika arus meningkat maka produksi gas hidrogen juga akan semakin besar dan energi yang dilepaskan untuk memisahkan hidrogen dan oksigen juga meningkat karena adanya kenaikan suhu. Pengujian generator elektrolisis dengan menggunakan PWM pada *duty cycle 50%*, arus yang digunakan terlihat stabil. Pada *duty cycle 75%* dan *90%* arus yang digunakan untuk melakukan elektrolisis cenderung stabil. Arus listrik maksimal pada *duty cycle 90%* sebesar 4,4 Amper. Variasi pulsa PWM yang diberikan pada generator

elektrolisis mempengaruhi tegangan dan arus yang digunakan. Tegangan pada duty cycle 75% dan 90% rata-rata adalah 7,7 dan 7,1 volt, namun arus listrik yang mengalir berbeda hal ini karena pengaruh waktu pulsa on dan waktu pulsa off.



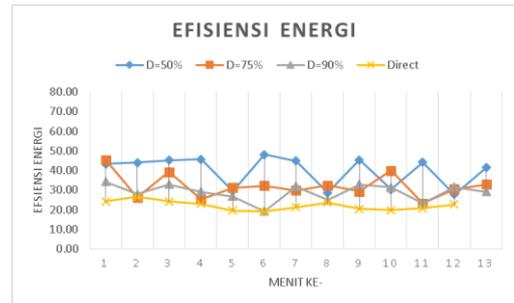
Gambar 1.11. Grafik Daya Terhadap Waktu

Daya pada generator elektrolisis tanpa PWM mencapai 54,67 – 69,95 Watt. Perubahan daya terhadap waktu dipengaruhi oleh temperatur, semakin tinggi temperatur, maka arus akan mengalami kenaikan. Sehingga daya yang digunakan juga meningkat. Generator elektrolisis dengan menggunakan PWM memiliki daya yang stabil terhadap waktu, karena temperatur generator naik secara bertahap. Daya paling kecil adalah pada duty cycle 50% dan kebutuhan daya paling besar adalah pada duty cycle 90%.



Gambar 1.12. Grafik Temperatur Generator Elektrolisis Terhadap Waktu

Kenaikan temperatur fluida pada saat proses elektrolisis terjadi sangat cepat pada generator elektrolisis tanpa menggunakan PWM. Kenaikan suhu dipengaruhi oleh arus listrik yang digunakan ketika proses elektrolisis. Kenaikan suhu pada generator elektrolisis tanpa PWM dapat mencapai 72,70C dalam waktu 13 menit. Pada generator elektrolisis tanpa PWM kenaikan suhu naik secara perlahan dan tidak signifikan seperti pada generator elektrolisis tanpa PWM. Pada duty cycle 50%, kenaikan suhu ruang generator elektrolisis relatif lebih lama. Kenaikan Suhu pada ruang generator elektrolisis dengan PWM yang realtif lama dan dapat dikendalikan membuat generator dengan PWM lebih baik, hal ini dikarenakan pemberian arus dan tegangan dilakukan dalam bentuk pulsa yang memiliki waktu on dan waktu off.



Gambar 1.13. Grafik Efisiensi Generator elektrolisis Terhadap Waktu

Dari grafik terlihat bahwa efisiensi generator elektrolisis dengan PWM lebih baik dibandingkan dengan generator elektrolisis tanpa PWM. Efisiensi dipengaruhi oleh suhu pada ruang generator elektrolisis, ketika suhu meningkat maka arus yang dibutuhkan pada generator elektrolisis juga akan meningkat. Meskipun efisiensi generator elektrolisis dengan PWM lebih tinggi dari pada generator elektrolisis tanpa menggunakan PWM, namun volume gas yang dihasilkan masih belum optimal. Penggunaan PWM pada generator elektrolisis menurut peneliti dan berdasarkan hasil pengujian lebih optimal pada duty cycle 75% hal ini dikarenakan efisiensi pada duty cycle 75% lebih tinggi daripada efisiensi dengan duty cycle 90%, dan volume gas lebih besar daripada generator elektrolisis dengan duty cycle 50%.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian pengujian generator elektrolisis penghasil gas hidrogen dengan menggunakan PWM dan tanpa PWM dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Generator Elektrolisis tanpa menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM) kenaikan suhu pada ruang generator mencapai 72,7^oC dalam waktu 13 menit. Suhu yang mencapai 72,7^oC membuat proses elektrolisis tidak dapat berlangsung lama, sebab dengan suhu yang tinggi dapat merusak material generator elektrolisis. Meskipun volume yang dihasilkan rata-rata per menit mencapai 79,2 ml/menit, namun rata-rata efisiensi generator elektrolisis sebesar 22,1%. Hal ini disebabkan karena tingginya suhu pada ruang generator dan juga besarnya arus listrik yang digunakan dalam proses elektrolisis.
2. Generator Elektrolisis dengan menggunakan PWM, kenaikan suhu generator elektrolisis tidak berlangsung cepat seperti pada generator elektrolisis tanpa PWM. Efisiensi tertinggi adalah pada *duty cycle* 50%, dimana efisiensi rata-ratanya sebesar 39,9% dan efisiensi terendah adalah pada *duty cycle* 90% yaitu efisiensi rata-rata sebesar 28,9%. Dalam penelitian ini, generator elektrolisis dengan *duty cycle* 75% lebih optimal, karena dengan efisiensi rata-rata 32% volume gas yang dihasilkan lebih besar daripada variasi *duty*

cycle 50% yaitu rata-rata volume gas yang dihasilkan sebesar 40 ml/menit.

Saran

Berdasarkan proses penelitian. Peneliti menyarankan pengembangan generator elektrolisis agar dapat dimanfaatkan secara optimal yaitu :

1. Dengan hasil penelitian ini, maka generator elektrolisis dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menggunakan PWM dengan kontrol otomatis berdasarkan suhu dan arus yang digunakan pada generator elektrolisis.
2. Untuk pengembangan generator elektrolisis dengan otomasi PWM. Maka, agar sensor suhu dapat digunakan dalam sistem kontrol, transduser yang digunakan mesti bersifat isolator atau menggunakan sensor suhu thermopile.
3. Penggunaan generator elektrolisis dapat diaplikasikan pada kompor. Dalam hal ini perlu penelitian lebih lanjut.
4. Jika generator dihubungkan langsung dengan sumber listrik arus searah, diperlukan alat tambahan sebagai pendingin generator agar suhu generator elektrolisis tidak terlalu tinggi mencapai 70°C. Jika suhu lebih dari 70°C, hal tersebut berpotensi merusak material generator elektrolisis.

Daftar Pustaka

- Arif, Sulaiman. 2012. *Arduino : Microcontroller bagi Pemula hingga Mahir*. <http://buletin.balaielektronika.com/?p=163>. [25 Agustus 2015]
- Bheta-Theta.com. 2004. *Electrolysis*. <http://www.beta-theta.com/Chemistry/Electrolysis.html>. [20 Agustus 2015].
- Fattah, Ahmad. 2012. *Komparasi Variasi Jumlah Elektroda dengan Panjang Total Kawat pada Generator HHO terhadap Unjuk Kerja Honda Karisma 125*. Surabaya: Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh November.
- Ghifari, Yannur Arzaqa. 2013. "Studi Karakteristik Generator Gas HHO Tipe Dry Cell dan Wet Cell." *Jurnal Teknik POMITS* 2.
- Harman, dkk. 2012. *Pengaruh Penambahan Gas Oksihidrogen Terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin Berbahan Bakar Pertamina*. Makassar: Universitas Hasanudin.
- Ilhamy, M. Ahsan. 2010. *Analisis Pembangkit Gas Hidrogen dengan menggunakan Zero Current Leak Cell (ZCLC)*. Jakarta: Universitas Nasional.
- Lutfi. 2007. *IPA KIMIA*. Jakarta: Erlangga.
- Nave, Carl Rod. 2001. *Electrolysis of Water*. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/electrol.html>. [27 September 2015].
- Putra, Arbie Marwan. 2010. *Analisis Produktivitas Gas Hidrogen dan Gas Oksigen pada Elektrolisis Larutan KOH*. Malang: UIN Maulana Malik Ibrahim.
- Roon, Tony Van. 2010. *HHO Experiments Circuits & Diagrams*. <http://www.sentex.ca/~mec1995/hho/hho.html>. [20 September 2015]
- Sadarmayanti dan Syarifudin Hidayat. 2002. *Metodologi Penelitian*. Bandung: Mandar Maju.
- Santin, J.J., and et.al. 2007. *The World's Most Fuel Efficient Vehicle, Design and Development of PAC-CAR II*. Zurich: ETH Zurich.
- Sugiyono. 2012. *Metode Penelitian Kombinasi (Mixed Methods)*. Bandung : Alfabeta.
- Sukmanawati, Wening. 2009. *Kimia Untuk SMA dan MA Kelas XII*. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional.
- Susiloatmadja, Romdhoni. 2009. Materi Kimia Dasar 2. *Official Site of Romdhoni Susiloatmadja - Gunadarma University*. http://romdhoni.staff.gunadarma.ac.id/Downloads/files/12833/KD2_slite3.pdf. [20 November 2015].
- Tjatur, Rusmito. 2015. *Proses Elektrolisa Pada Prototipe Kompor Air Dengan Pengaturan Arus dan Temperatur*. Surabaya, Jawa Timur: PENS-ITS.
- Yuniardi, Dewa. 2012. *Menghasilkan Hidrogen dari Air*. <http://mobilhibrid.blogspot.com/2012/11/menghasilkan-hidrogen-dari-air.html>. [30 Agustus 2015]
- Zulfikar. 2010. *Hukum Faraday*. http://www.chem-is-try.org/materi_kimia/kimia-kesehatan/reaksi-kimia-kimia-kesehatan-materi_kimia/hukum-faraday/. [14 September 2015]