

Unjukkerja Electrolyzer tipe Dry Cell Terhadap Variasi Konsentrasi Elektrolit dan Arus Listrik pada Mesin PEM Fuel Cell Skala Kecil untuk Pembangkit Listrik

Yusuf Dewantoro Herlambang^{1*}, Anis Roihatin¹, Kurnianingsih², Fatahul Arifin³

¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang

²Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Semarang

Jl.Prof.H.Soedarto, S.H. Tembalang, Semarang,50275

³Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya

Jl. Sriwijaya Negara, Bukit Lama, Bukit Besar Kota Palembang, Sumatera Selatan 30139

*E-mail: masyusufdh@polines.ac.id

Diterima: 13-11-2021; Direvisi: 10-12-2021; Dipublikasi: 30-12-2021

Abstrak

Seiring peningkatan kebutuhan listrik di Indonesia serta menipisnya jumlah energi fosil dilakukan pengembangan energi baru terbarukan yang bebas polusi salah satunya yakni pemanfaatan energi hidrogen. Mesin fuel cell merupakan aplikasi pengembangan energi hidrogen yang dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Proton Exchange Membrane (PEM) fuel cell merupakan salah satu jenis fuel cell yang mampu beroperasi pada temperatur rendah dan menghasilkan efisiensi sekitar 40-60%. Pada penelitian sebelumnya kinerja dari mesin PEM fuel cell kurang maksimal, sehingga perlu dilakukan modifikasi pada bagian komponen HHO generator yakni dengan mengubah dari tipe wet cell menjadi dry cell. Pengubahan ini didasari kelemahan tipe wet cell dimana hasil debit gas hidrogen rentan tercampur dengan uap air akibat kenaikan temperatur pada larutan elektrolit sehingga menyebabkan terjadinya penguapan. Hasil dari modifikasi ini yakni debit gas hidrogen yang mana setelah dilakukan modifikasi pada arus masukan 20 A dan konsentrasi KOH 0,5 M terjadi peningkatan debit sebesar 0,306 mL/s, kemudian pada 1 M terjadi peningkatan debit sebesar 1,434 mL/s, serta pada 1,5 M meningkat sebesar 5,439 mL/s. Namun demikian meski debit HHO generator, yang mana daya masukan fuel cell, meningkat efisiensi dari fuel cell justru menurun karena maksimum tegangan keluaran fuel cell sesuai spesifikasi hanya mencapai 2,3 V - 3 V, sehingga daya input masukan fuel cell tinggi namun daya keluaran fuel cell tetap sesuai dengan spesifikasi yang tentunya mengakibatkan nilai efisiensi fuel cell menurun. Secara keseluruhan hasil tertinggi efisiensi dari HHO generator mencapai 85,86% sedangkan efisiensi fuel cell mencapai 4,6%.

Kata kunci: PEM Fuel Cell, HHO Generator, laju aliran volumetrik, arus listrik, efisiensi

Abstract

Along with the increasing demand for electricity in Indonesia and the decreasing of fossil energy, the government try to developing the pollution-free renewable energy, one of which is the use of hydrogen energy. The fuel cell engine is an application to develop hydrogen energy that can convert chemical energy into electrical energy. Proton Exchange Membrane (PEM) fuel cell is be kind of fuel cell that is capable to operate at low temperatures and produces an efficiency of around 40-60%. In previous research, the performance of the PEM fuel cell engine was less than optimal, so the modification of the HHO generator has to be done by changing the type wet cell type to a dry cell. This change is based on the weakness of the wet cell type where the results of the hydrogen gas output are tends to get mixed with water vapor due to the increase in temperature in the electrolyte solution, causing evaporation. The result of the modification is hydrogen gas output which after being reconditioned with the input current 20 A and concentration of KOH 0.5 M the output increase until 0.306 mL/s, then at 1 M the output increase until 1,434 mL/s, and at 1 M the output increase until 1,434 mL/s and also at 1,5 M the output increase until 5.439 mL/s. However, even though the HHO generator output, which is the input power of the fuel cell has increased the efficiency of the fuel cell decreases because the maximum output voltage of the fuel cell according to the specifications is only 2.3 V-3 V, so that the input power of the fuel cell were high, but the output power of the fuel cell remains in accordance with the specifications which of course causes the value of the efficiency of the fuel cell decreased. Over all the highest efficiency results from the HHO generator reached of 85,86% while the fuel cell efficiency reached until 4.6%.

Keywords: PEM Fuel Cell, HHO Generator, volumetric flow rate, current, efficiency

1. Pendahuluan

Peningkatan penduduk berbanding lurus dengan meningkatnya kebutuhan listrik di Indonesia. Permintaan listrik yang meningkat tentunya menuntut produksi listrik yang lebih banyak. Saat ini pemakaian energi fosil sebagai bahan bakar pembangkit listrik masih mendominasi yakni mencapai 87,4%. Menipisnya jumlah energi fosil dan juga penggunaannya yang berdampak buruk pada lingkungan mendukung pengembangan Energi Baru Terbarukan [1-4]. Energi hidrogen merupakan EBT bersih bebas polusi yang mempunyai keunggulan dapat dimanfaatkan pada berbagai aplikasi, baik untuk kapasitas besar seperti sumber tenaga listrik maupun untuk sumber tenaga yang kecil seperti aplikasi di catu daya computer [5-6], bahkan mobile phone.

Upaya pengembangan energi hidrogen sebagai bahan bakar ramah lingkungan adalah aplikasi mesin fuel cell. Fuel cell adalah perangkat elektrokimia yang mengubah energi kimia sebagai bahan bakar menjadi energi listrik secara langsung, yang mana cukup menjanjikan sebagai pembangkit dengan efisiensi tinggi dan dampak lingkungan yang rendah [7-9]. Salah satu jenis dari fuel cell yaitu Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC). PEMFC memiliki rapat arus yang tinggi, mudah didistribusikan dan beroperasi pada temperatur rendah [10].

Kinerja dari mesin PEM fuel cell dipengaruhi oleh beberapa faktor yakni laju aliran serta kualitas bahan bakar hidrogen yang dihasilkan oleh HHO generator dan kapasitas keluaran fuel cell itu sendiri. HHO generator adalah alat yang berfungsi untuk memproduksi atau menghasilkan gas hidrogen yang akan digunakan sebagai bahan bakar fuel cell [11-14]. Mesin PEM fuel cell di penelitian sebelumnya menggunakan HHO generator tipe basah atau wet cell yang rentan terjadi penguapan pada larutan elektrolit, oleh sebab itu modifikasi perlu dilakukan. Penelitian yang dilakukan dengan mengubah HHO generator tipe basah atau wet cell menjadi tipe kering atau dry cell dengan tujuan untuk mengurangi kenaikan temperatur pada larutan elektrolit sehingga tidak terjadi penguapan.

Penelitian pada bagian HHO generator menjadi tipe dry cell didasarkan pada kelemahan-kelemahan pada HHO generator tipe wet cell yang mana gas hidrogen yang dihasilkan rentan tercampur dengan uap air akibat kenaikan temperatur pada larutan elektrolit sehingga menyebabkan terjadinya penguapan [15-16]. Studi ini dilakukan dengan membuat HHO generator baru tipe kering dengan penambahan tabung reservoir secara terpisah sebagai tempat penampungan larutan elektrolit. Modifikasi pada HHO generator ini diharapkan agar tidak terjadi kenaikan temperatur secara cepat pada gas hidrogen sehingga gas hidrogen yang dihasilkan memiliki kualitas yang lebih baik dan proses konversi dari gas hidrogen menjadi energi listrik pun menjadi lebih sempurna.

Generator Hidrogen atau yang lebih dikenal sebagai generator gas Hidrogen bekerja menggunakan prinsip elektrolisis air untuk menghasilkan gas hidrogen atau Hidrogen. Proses elektrolisis air merupakan salah satu cara untuk memisah atom hidrogen dan atom oksigen dari dalam air atau hasil gas dari proses elektrolisis ini lebih dikenal dengan istilah *Brown Gas* [17-18]. Hidrogen dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif, selain sebagai bahan bakar, hidrogen tidak menimbulkan polusi, tidak berwarna, dan tidak berbau.

Elektrolisis air dengan menggunakan generator gas Hidrogen [19-21] ini adalah dengan mengalirkan arus listrik melewati media air tersebut dengan perantara elektroda (katoda dan anoda).

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

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

Generator HHO tipe ini sebagian elektrodanya tidak terendam elektrolit dan elektrolit hanya mengisi celah-celah antara elektroda itu sendiri. Keuntungan generator HHO tipe *dry cell* adalah:

- a) Air yang di elektrolisa hanya seperlunya, yaitu hanya air yang terjebak diantara lempengan cell.

- b) Panas yang ditimbulkan relative kecil, karena selalu terjadi sirkulasi antara air panas dan dingin di reservoir.
- c) Panas dari elektroda juga dapat berkurang karena dibantu oleh pendinginan udara bebas
- d) Waktu reaksi lebih cepat, aman, dan temperatur lebih rendah pada daya listrik yang sama. Hal ini dikarenakan saluran air bersentuhan langsung dengan udara sehingga terjadi transfer kalor
- e) Arus listrik yang digunakan relatif lebih kecil, karena daya yang terkonversi menjadi panas semakin sedikit.

2. Tipe Basah (*wet cell*)

Generator HHO tipe ini semua elektrodanya terendam cairan elektrolit di dalam sebuah bejana air.

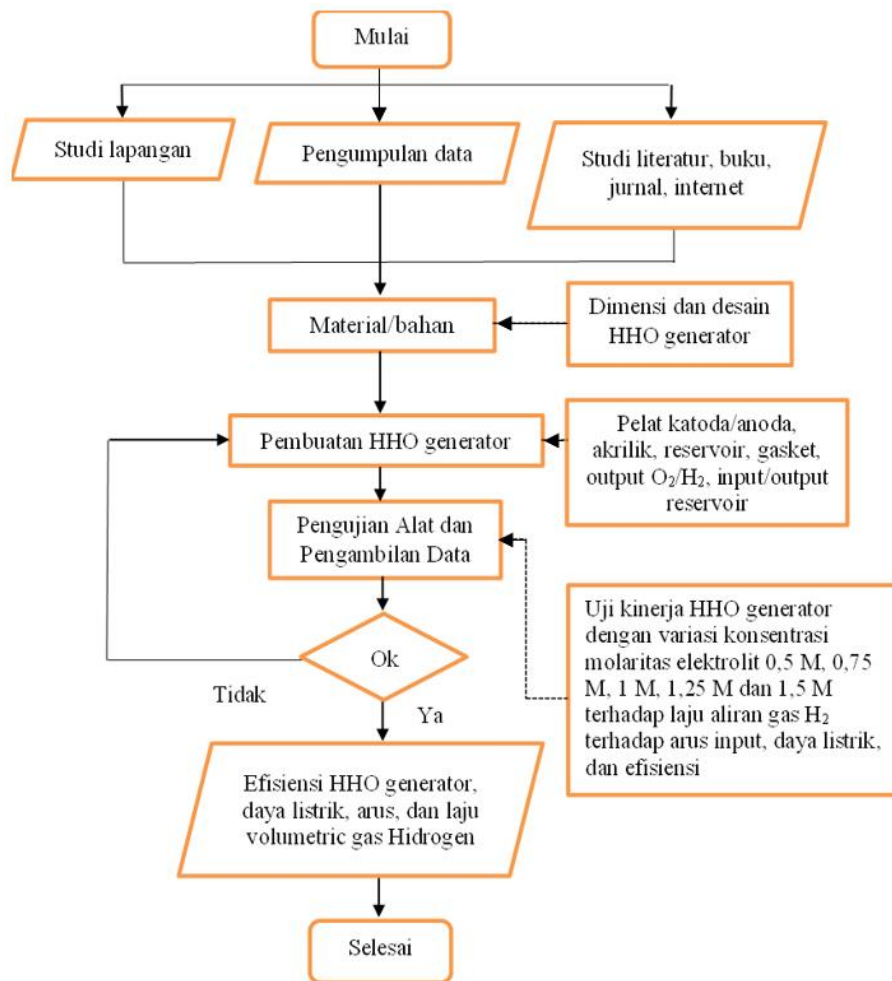
Keuntungan generator HHO tipe wet cell adalah:

- a) Perawatan generator lebih mudah.
- b) Rancang bangun pembuatan generator HHO lebih mudah.
- c) Generator HHO tipe basah jika mengalami kenaikan temperatur akan mengurangi kualitas gas HHO karena gas yang dihasilkan akan bercampur dengan uap air karena pada tipe ini air yang mengenai plat elektroda tidak dapat diatur.

2. Material dan metodologi

Metode penelitian yang digunakan terbagi menjadi dua bagian, yaitu pada saat modifikasi dan pengujian. Pada modifikasi, metode yang digunakan antara lain metode observasi, merupakan metode untuk memperoleh bahan yang diperlukan dalam proses modifikasi alat dan untuk memperoleh informasi mengenai peralatan yang dibutuhkan dalam proses modifikasi alat. Metode selanjutnya adalah metode studi pustaka, merupakan metode pengumpulan dasar-dasar teori dan penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan HHO generator. Studi pustaka dilakukan dengan mencari buku-buku, jurnal di perpustakaan maupun di internet atau tempat lain yang dapat mendukung penelitian ini. Metode yang selanjutnya dengan membuat alat produksi gas hidrogen tipe dry cell untuk meningkatkan produksi gas hidrogen. Metode yang terakhir yaitu metode pembuatan, merupakan metode proses pembuatan HHO generator setelah ditentukan desain yang paling tepat dan merupakan proses kegiatan penelitian dengan berdasarkan pada gambar kerja serta perencanaan dan perhitungan yang telah ditentukan sebelumnya. Kemudian pada bagian pengujian terdapat metode uji kinerja, merupakan metode dimana tahap-tahap pengerjaan alat telah selesai dibuat dan siap untuk dilakukan pengujian untuk dapat mengetahui sejauh mana alat dapat bekerja. Hasil pengujian dapat diketahui:

1. Laju aliran gas Hidrogen terhadap arus input
2. Efisiensi HHO generator terhadap arus input
3. Daya listrik yang dihasilkan terhadap konsentrasi KOH
4. Efisiensi HHO generator terhadap konsentrasi KOH



Gambar 1. Tahapan penelitian HHO generator

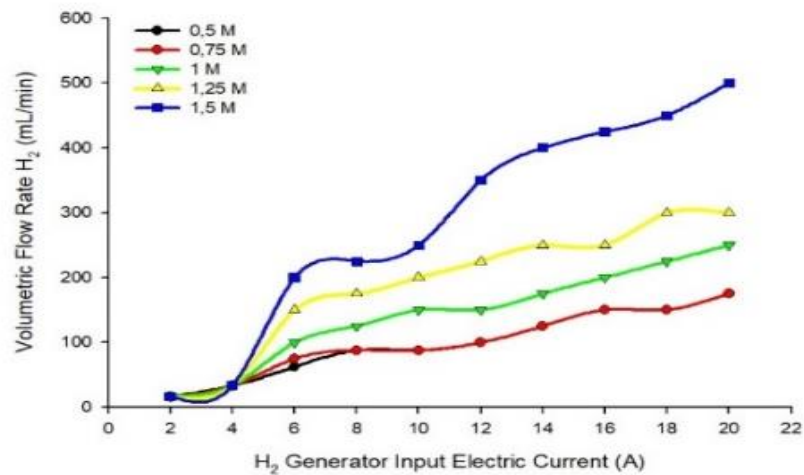
3. Hasil dan pembahasan

Pada alat HHO generator ini dilakukan pengujian ini menggunakan variasi konsentrasi 0,5 M, 0,75 M, 1 M, 1,25 M, dan 1,5 M dengan setiap konsentrasi menggunakan variasi arus 2 A, 4 A, 6 A, 8 A, 10 A, 12 A, 14 A, 16 A, 18 A, dan 20 A. Pada setiap pengujian dilakukan tiga kali kali percobaan, dengan waktu selama 60 detik pada setiap pengujiannya. Hasil pengujian dan perhitungan HHO generator disajikan dalam tabel dan grafik di bawah ini.

Tabel 1. Hasil pengujian HHO generator

Konsentrasi (Molar)	Arus (A)	Tegangan (V)	Debit H2 mL/min	Konsentrasi (Molar)	Arus (A)	Tegangan (V)	Debit H2 mL/min
0,50	2	4	16,67	0,75	2	3,5	16,67
	4	8	33,34		4	6	33,34
	6	10	62,5		6	12	75
	8	16	87,5		8	14	87,5
	10	24	87,5		10	18	87,5

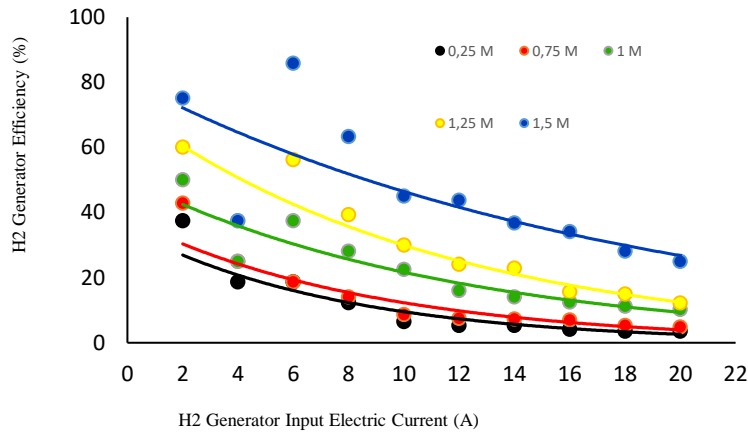
	12	28	100		12	20	100
	14	30	125		14	22	125
	16	40	150		16	24	150
	18	42	150		18	28	150
	20	44	175		20	32	175
1,00	2	3	16,67	1,25	2	2,5	16,67
	4	6	33,34		4	4	33,34
	6	8	100		6	8	150
	8	10	125		8	10	175
	10	12	150		10	12	200
	12	14	150		12	14	225
	14	16	175		14	14	250
	16	18	200		16	18	250
	18	20	225		18	20	300
	20	22	250		20	22	300
1,50	2	2	16,67				
	4	4	33,34				
	6	7	200				
	8	8	225				
	10	10	250				
	12	12	350				
	14	14	400				
	16	14	425				
	18	16	450				
20	18	500					



Gambar 2. Karakteristik laju aliran gas Hidrogen dan arus masukan HHO generator pada berbagai konsentrasi KOH 0,5 M, 0,75 M, 1,0 M, 1,25 m, dan 1,5 M

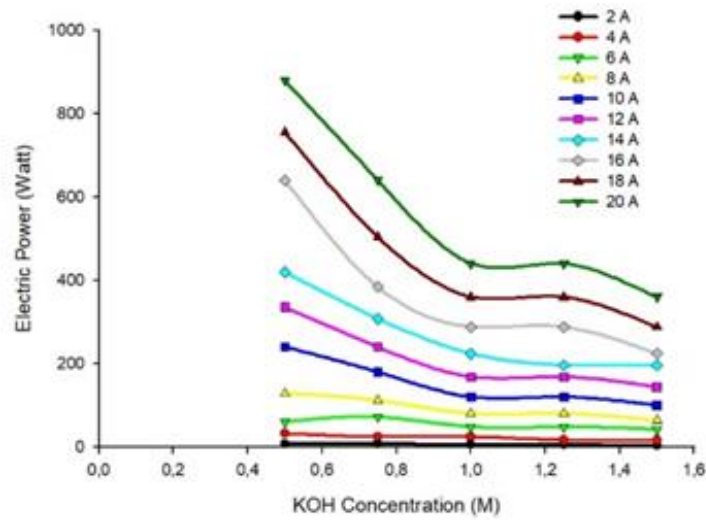
Bertambahnya arus yang mengalir ke HHO generator melalui plat elektroda akan meningkatkan jumlah produksi gas hydrogen ditunjukkan pada Gambar 2, sesuai dengan Hukum 1 Faraday yang berbunyi “massa zat yang dihasilkan pada suatu elektroda selama proses elektrolisis berbanding lurus dengan muatan listrik yang digunakan”. Pada grafik tersebut jumlah produksi gas terbesar ada pada konsentrasi 1,5 M dengan arus 20 A yaitu mencapai 500 ml/menit gas hydrogen. Bertambahnya nilai konsentrasi untuk arus yang sama juga akan meningkatkan produksi gas hydrogen. Pada konsentrasi

0,5 M sampai dengan 2 M jumlah produksi gas meningkat. Meningkatnya produksi gas hidrogen dikarenakan persentase katalis yang meningkat dapat mengurangi hambatan elektrolit, sehingga proses transfer elektron lebih cepat megelektrolisis larutan elektrolit dan proses ekstraksi gas hidrogen lebih cepat.



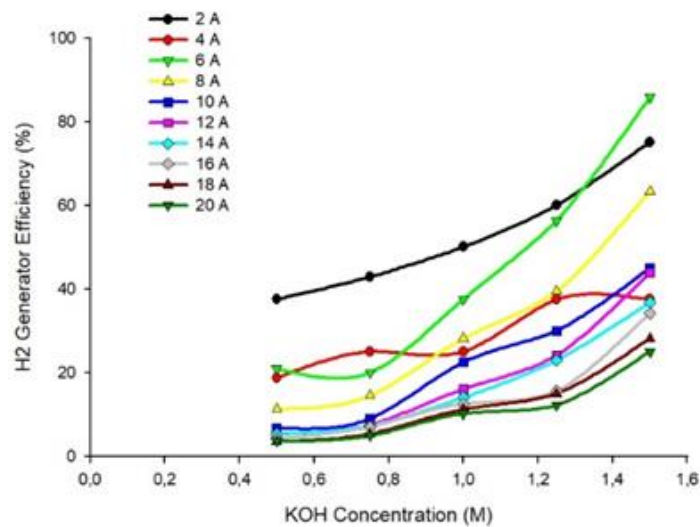
Gambar 3. Karakteristik efisiensi HHO generator dan arus masukan pada berbagai konsentrasi KOH 0,5 M, 0,75 M, 1,0 M, 1,25 m, dan 1,5 M

Penurunan efisiensi kerja dari H₂ generator diakibatkan oleh meningkatnya arus listrik yang dihasilkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Di sisi lain, bertambahnya arus akan meningkatkan produksi gas hidrogen. Semakin besar arus listrik maka semakin banyak ion-ion yang terlibat dalam penghantaran arus listrik. Semakin banyaknya ion-ion yang terlibat dalam penghantaran arus listrik inilah yang membuat laju reaksi semakin besar. Namun perlu diingat bahwa peningkatan arus ini berbanding lurus dengan peningkatan temperatur pada elektrolit sehingga timbul panas pada larutan elektrolit dan sebagian energi listrik diubah menjadi energi panas yang merupakan rugi-rugi. Semakin besar nilai konsentrasi elektrolit akan meningkatkan efisiensi. Besarnya nilai konsentrasi menandakan bahwa persentase katalis semakin besar sehingga transfer elektron dapat lebih cepat megelektrolisis elektrolit dan produksi gas hidrogen pun menjadi maksimal. Dengan bertambahnya produksi gas hidrogen ini yang membuat efisiensi meningkat. Efisiensi tertinggi yaitu sebesar 85,86% pada konsentrasi 1,5 M dengan arus sebesar 6 Ampere.



Gambar 4. Karakteristik Daya yang dihasilkan HHO generator dan konsentrasi KOH pada berbagai arus masukan 2A, 4A, 6A, 8A, 10A, 12A, 14A, 16A, 18A, dan 20A

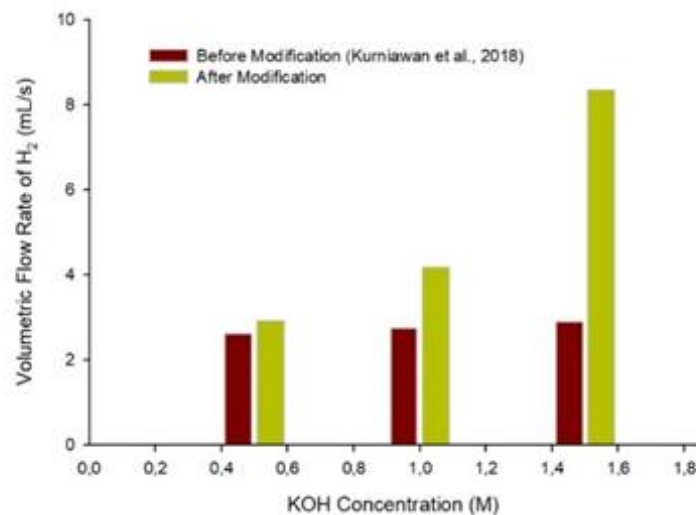
Pada pengujian menggunakan arus 20 A dengan konsentrasi 0,5 M daya listrik yang diserap sebesar 880 W, pada konsentrasi 0,75 M daya yang digunakan sebesar 640 W dijelaskan pada Gambar 4. Selanjutnya akan menurun menjadi 440 W pada konsentrasi 1 M dan 1,25 M, dan pada konsentrasi 1,5 M turun lagi menjadi 360 W. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi pada arus yang sama maka akan menurunkan daya listrik yang dibutuhkan dalam proses elektrolisis. Menurunnya daya listrik disebabkan karena tegangan H_2 generator pada arus yang sama semakin menurun ketika terjadi penambahan konsentrasi larutan. Hal ini disebabkan oleh persentase katalis yang semakin tinggi dapat mereduksi hambatan pada elektrolit. KOH sebagai katalisator berfungsi mempermudah proses penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen karena ion-ion katalisator mampu mempengaruhi kestabilan molekul air menjadi ion H^+ dan OH^- yang lebih mudah dielektrolisis karena terjadi penurunan energi pengaktifan. Semakin besar konsentrasi suatu larutan pereaksi maka akan semakin besar pula laju reaksinya.



Gambar 5. Karakteristik efisiensi HHO generator dan konsentrasi KOH pada berbagai

arus masukan 2A, 4A, 6A, 8A, 10A, 12A, 14A, 16A, 18A, dan 20A

Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin besar nilai konsentrasi elektrolit akan meningkatkan efisiensi. Besarnya nilai konsentrasi menandakan bahwa persentase katalis semakin besar sehingga transfer elektron dapat lebih cepat mengelektrolisis elektrolit dan produksi gas hidrogen pun menjadi maksimal. Dengan bertambahnya produksi gas hidrogen ini yang membuat efisiensi meningkat. Efisiensi tertinggi yaitu sebesar 85,86 % pada konsentrasi 1,5 M dengan arus sebesar 6 A.



Gambar 6. Hasil pengujian laju aliran gas Hidrogen dan konsentrasi KOH antara HHO generator tipe wet cell (sebelum modifikasi) dengan dry cell (setelah modifikasi)

Hasil pengujian pada Gambar 6 menunjukkan bahwa debit gas hidrogen yang dihasilkan oleh H₂ generator setelah modifikasi memiliki jumlah yang lebih besar dari pada debit yang dihasilkan oleh H₂ generator sebelum modifikasi. Hal ini menunjukkan bahwa dimodifikasinya H₂ generator dari tipe *wet cell* menjadi tipe *dry cell* berpengaruh juga terhadap jumlah gas hidrogen yang dihasilkan. Peningkatan temperatur larutan elektrolit yang menyebabkan terjadinya penguapan larutan elektrolit pada H₂ generator tipe basah selain berpengaruh pada kualitas gas hidrogen yang dihasilkan, juga berpengaruh pada jumlah debit yang dihasilkan. Penguapan menyebabkan volume larutan menurun sehingga jumlah larutan yang dielektrolisis pun berkurang. Hal ini menyebabkan jumlah gas hidrogen yang dihasilkan juga akan mengalami penurunan. Dapat dilihat pada grafik bahwa jumlah produksi gas hidrogen pada konsentrasi 0,5 M sebelum modifikasi yaitu 2,611 mL/s lalu setelah dimodifikasi menjadi 2,917 mL/s. Pada konsentrasi 1 M menghasilkan gas hidrogen sebesar 2,733 mL/s sebelum modifikasi dan meningkat menjadi 4,167 mL/s setelah modifikasi. Kemudian pada konsentrasi 1,5 M sebelum modifikasi menghasilkan gas hidrogen 2,894 dan meningkat menjadi 8,333 mL/s setelah dimodifikasi.

4. Kesimpulan

Penelitian unjukkerja HHO generator ini menghasilkan kesimpulan bahwa jumlah debit gas hidrogen tertinggi yang dihasilkan oleh HHO generator yaitu 8,333 mL/s pada konsentrasi larutan KOH 1,5 M dengan arus masukan sebesar 20

A. Semakin tinggi arus dan konsentrasi larutan maka semakin tinggi pula jumlah produksi gas yang dihasilkan. Modifikasi HHO generator dari tipe wet cell menjadi tipe dry cell juga berpengaruh terhadap peningkatan jumlah dan kualitas gas hidrogen yang dihasilkan serta efisiensi dari HHO generator. Pada arus masukan sebesar 20 A dengan konsentrasi 0,5 M sebelum modifikasi, HHO generator menghasilkan debit gas hidrogen sebesar 2,611 mL/s, setelah dimodifikasi menjadi 2,917 mL/s. Pada konsentrasi 1 M menghasilkan gas hidrogen sebesar 2,733 mL/s sebelum modifikasi dan meningkat menjadi 4,167 mL/s setelah modifikasi. Kemudian pada konsentrasi 1,5 M sebelum modifikasi menghasilkan gas hidrogen 2,894 dan meningkat menjadi 8,333 mL/s setelah dimodifikasi. Pada pengujian dengan tegangan operasi fuel cell 2,3 – 3 V, debit Hidrogen yang bisa disuplai terbaik sebesar 0,5560 mL/s dengan efisiensi tertinggi pada HHO generator sebesar 85,86 %.

Ucapan Terima kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi atas dukungan pendanaan Penelitian Desentralisasi tahun 2021 dengan nomor kontrak: 188/E4.1/AK.04.PT/2021 pada skim Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi (PTUPT) Politeknik Negeri Semarang.

Daftar Pustaka

- [1] Yusuf, D.H., Shyu, J.C., Lee, S.C., Numerical simulation of the performance of air-breathing direct formic acid microfluidic fuel cells. *Micro Nano Lett.* 2017 April; 12: p. 860-865.
- [2] Yusuf, D.H., Anis, R., Kurnianingsih, K., Totok, P., Lee, S.C. Lee., Shyu, J.C., Computation and numerical modeling of fuel cell concentration distribution and current density on performance of the microfluidic fuel cell. *Proceeding of 2nd International Conference on Chemical Process and Product Engineering (ICCPPE)*. AIP Publishing; 2020. 2197. p. 090001-1 - 090001-21.
- [3] Amin, M., Nita, N., Emidiana, E., Pemanfaatan hydrogen dari HHO generator sebagai penghemat bahan bakar pada prime mover generator. *Prosiding Seminar Nasional II Hasil Litbangyasa Industri*. 2019. P.49-55
- [4] Arifin, T., Bayu, R., Yuana, S., Studi penggunaan plat elektroda netral Stainless Steel 316 dan Aluminium terhadap performa generator HHO dry cell. *Jurnal Rona Teknik Pertanian*. 2015, 11 (1): p. 1-11.
- [5] Yusuf, D.H., Anis, R., Kurnianingsih, K., Lee, S.C., Shyu, J.C., MEMS-based microfluidic fuel cell for in situ analysis of the cell performance on the electrode surface. *Proceeding of 8th Engineering International Conference (EIC)*, *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing; 2020. 1444: p. 012044.
- [6] Yusuf, D.H., Fatahul, A., Kurnianingsih, A., Totok, P., Anis, R., Numerical analysis of phenomena transport of a Proton Exchange Membrane (PEM) fuel cell. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*. 2021 Maret; 80 (2): p. 127-135.
- [7] Abdul, H., Bambang, S., Karakterisasi unjuk kerja generator gas HHO tipe dry cell dengan elektroda Titanium dan penambahan PWM. *Jurnal Teknik ITS*. 2017, 1 (1): p. 2301-9271.
- [8] Hall, J. L. *Fuel Cell Handbook*. 2nd edition. United States Department of Energy Office of Fossil Energy National Energy Technology Laboratory: John Wiley & Sons; 1987. p. 157.
- [9] K. Adam, N.S. Dwi, D.P. Eko, A. Renda, *Teknologi Pembangkit Listrik Energi Baru Terbarukan Menggunakan Proton Exchange Membrane (PEM) Fuel Cell Skala Kecil*. Tugas Akhir. Semarang: Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang; 2018. p. 41-65.

- [10] Yusuf, D.H., Totok, P., Anis, R., Yanuar, M.S., Fatahul, A., Hybrid power plant of the photovoltaic-fuel cell. Proceeding of International Conference on Innovation in Science and Technology (ICIST). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing; 2021. 1108: p.012049.
- [11] Yusuf, D.H., Kurnianingsih, K., Anis, R., Fatahul, A., Model experimental of photovoltaic-electrolyzer fuel cells as a small-scale power. Proceeding of 3th International Conference on Vocational Education of Mechanical and Automotive Technology (ICoVEMAT). Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing; 2020. 1700: p. 012100.
- [12] Lee, S.C., Yusuf, D.H., Application of electrochemical supercapacitor to photovoltaic system on unmanned flying machine. Smart Grid and Renewable Energy. 2014 April; 5 (4): p. 77-87.
- [13] Yusuf, D.H., Lee, S.C., Liu, C.J., Numerical study and modeling of the solar radiation measurement on tilted surface for the local behavior database. Journal of the Chinese Society of mechanical Engineers. 2017 May; 37 (5): p. 441-448.
- [14] Kusumaningsih, H., Nurkholis, H., Yogi, E.P., Pengaruh Penambahan Pelat Terhadap Produksi Brown's Gas Pada Generator HHO Tipe Dry Cell. Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XV (SNNTTM XV); 5-6 Oktober 2016; Bandung Indonesia: p. 383-388.
- [15] Kharisma, M., Sarita, S., Ashok, S., Sanjay, V., Fuel Cell and Its Applications: A Review. International Journal of Engineering research & Technology (IJERT). 2018 June; 7 (6): p. 6-9.
- [16] N.M. Nia, O. Holia, R. Mamat, Integrasi Polymer Electrolyte Membrane (PEM) Fuel Cell dan Analisis Pengaruh Jumlah Sel Terhadap Performansi Berdasarkan Data Kurva Karakteristik. Skripsi. Bandung: Jurusan Teknik Elektro Universitas Telkom. 2014; p. 45-56.
- [17] Rusdianasari, R., Yohandri, B., Tresna, D., HHO Gas Generation in Hydrogen Generator using Electrolysis. Proceeding of International Conference on Science Infrastructure Technology and Regional Development (ICoSITeR). IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing; 2019. 258. 012007: p. 1-8.
- [18] Yusuf, D.H., Lee, S.C., Shyu, J.C., Hsu, H.C., Numerical estimation of photovoltaic-electrolyzer systems performance on the basis of a weather database. International journal of Green Energy. 2017 May; 14 (7): p. 575-585.
- [19] Icmi, A.S., Bayu, R., Agus, N., Budi, H., Uji Kinerja Smart Gried Fuel Cell Tipe Proton Exchange Membran (PEM) dengan Penambahan Hidrogen. Jurnal Ilmiah Inovasi. 2016 April; 1 (1): p. 11-16.
- [20] Siti, W., Suyanto, S., Yuliana, Y., Pembuatan dan karakterisasi membran komposit Kitosan-Sodium Alginat terfosforilasi sebagai Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC). Journal Kimia Riset. 2016 Juni; 1 (10): p. 14-21.
- [21] Yoyon, W., Heri, S., Eko, H., Produksi gas hydrogen menggunakan metode elektrolisis dari elektrolit air dan air laut dengan penambahan katalis NaOH. Youngster Physics Journal; 2017 Oktober; 6(4): p. 353-359.