

**PENGARUH GETARAN DAN TEMPERATUR UDARA
TERHADAP KINERJA PROTON EXCHANGE MEMBRANE
FUEL CELL (PEMFC)**

*(Effect of Vibration and Air Temperature on The Performance of Proton
Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC))*

Micha Mahardika¹, Hary Devianto¹ dan Isdiriayani Nurdin¹

¹Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung
E-mail/telp: micha.mahardika@gmail.com/082115071308

ABSTRAK

Penggunaan bahan bakar fosil pada alat transportasi menghasilkan emisi gas beracun yang dapat merugikan lingkungan. *Fuel cell* merupakan suatu alat elektrokimia yang dapat mengkonversi energi kimia menjadi energi listrik secara langsung dengan produk samping berupa air. *Proton exchange membrane fuel cell* (PEMFC) merupakan salah satu jenis *fuel cell* yang cocok diaplikasikan pada alat transportasi karena mampu beroperasi pada tekanan dan temperatur rendah, stabil, dan berukuran relatif kecil. Kondisi jalan normal menghasilkan getaran pada alat transportasi dalam rentang 20-250 Hz. Selain itu, karena letak mesin terisolasi, sehingga temperatur udara berpengaruh signifikan. Penelitian ini difokuskan untuk mempelajari pengaruh getaran, temperatur udara, dan beban arus konstan. Kinerja dari PEMFC dianalisis secara elektrokimia menggunakan metode *open circuit potential* (OCP), *chronopotentiometry*, *potentiodynamic*, dan *electrochemical impedance spectroscopy* (EIS). Peningkatan temperatur, getaran, dan beban arus mengakibatkan menurunnya daya maksimum PEMFC, meningkatnya tahanan *ohmic*, impedansi perpindahan muatan dan perpindahan massa.

Kata kunci: PEMFC, getaran, temperatur udara, karakterisasi elektrokimia

ABSTRACT

The use of fossil fuels in transportation produces toxic gas which will damage the environment. Fuel cell is an electrochemical device that directly converts the chemical energy into electricity with water as by-product. Proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) is one of fuel cell type that is suitable for electric vehicle because of its stability, small dimension as well as its capability to operate at low pressure and temperature. Condition of the normal road will produce vibrations on vehicles in the frequency range of 20-250 Hz. In addition, the confined location of machine causes a significant effect on air temperature. This research is focused on studying the effect of vibration, air temperature, and constant load. The performance of PEMFC was analyzed using electrochemical characterization methods, such as the open circuit potential (OCP), chronopotentiometry, potentiodynamic, and electrochemical impedance spectroscopy (EIS). Increasing of air temperature, vibration and constant load result in reduced power of PEMFC, increased ohmic polarization, increased impedance of charge transfer and increased impedance of mass transfer.

Key words: PEMFC, air temperature, vibration, electrochemical characterization

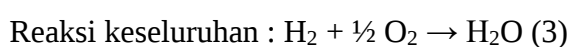
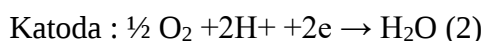
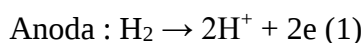
E-mail: jurnal.itekima@stack.ac.id

1. PENDAHULUAN

Penggunaan bahan bakar fosil sebagai sumber energi memberikan dampak negatif terhadap lingkungan karena dapat menyebabkan terjadinya polusi udara, emisi gas rumah kaca dan menipisnya cadangan sumber energi alami. Untuk itu perlu dikembangkan sumber energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan. Suatu alat alternatif pada kendaraan yang lebih ramah lingkungan dibutuhkan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil. Salah satu teknologi yang diusulkan adalah *fuel cell*. *Proton exchange membrane fuel cell* (PEMFC) merupakan jenis *fuel cell* yang paling cocok diaplikasikan pada alat transportasi karena beroperasi pada tekanan dan temperatur rendah, berukuran kecil serta mobilitas tinggi. Motor bakar pada alat transportasi yang sedang bergerak akan menghasilkan getaran sesuai dengan kondisi jalan dan menghasilkan panas. Getaran tersebut masuk dalam rentang frekuensi sekitar 20-250 Hz dengan amplitudo yang cukup tinggi.

Motor bakar pada alat transportasi berada pada suatu *confined space*, sehingga temperatur udara di sekitarnya berpengaruh terhadap kondisi motor bakar. Sama halnya dengan motor bakar pada alat transportasi, dalam aplikasi PEMFC pada alat transportasi, temperatur udara dan getaran berpengaruh terhadap kinerja PEMFC. Oleh karena itu, pada penelitian ini dipelajari pengaruh getaran dan temperatur udara pada kinerja PEMFC.

Elektrolit yang digunakan dalam PEMFC adalah membran polimer penukar ion yang merupakan proton konduktor yang sangat baik (Williams, 2004). Polimer memiliki batasan operasi temperatur yaitu di bawah 100 °C, tetapi temperatur operasi yang digunakan lebih banyak pada kisaran 60 °C – 80 °C (Belkhiri, 2011). Prinsip dasar PEMFC yaitu reaksi oksidasi hidrogen pada anoda dan reduksi oksigen pada katoda. Persamaan berikut menunjukkan reaksi dasar PEMFC (Sammes, 2006):



Kehandalan PEMFC menjadi hal penting dalam aplikasi PEMFC terutama untuk alat transportasi. Beberapa faktor yang mempengaruhi keandalan PEMFC di antaranya karakteristik material penyusun, kondisi operasi (kelembaban, temperatur, getaran), pengotor pada umpan anoda dan katoda, metode operasi (tunak dan kondisi *start-stop*), dan rancangan *stack* PEMFC (Yu *et al.*, 2012). Pendekatan *start-stop* sangat penting dilakukan pada PEMFC yang akan diaplikasikan pada kendaraan. Percobaan dengan pendekatan *start-stop* dilakukan sebelumnya dengan kondisi *start-stop* 10 detik OCP, 40 detik beban konstan, 10 detik OCP, dan 15 menit dimatikan (Oyarce *et al.*, 2011).

Temperatur udara pada PEMFC sangatlah penting pada kinerja dan kehandalan PEMFC. Penelitian tentang temperatur *stack* dilakukan sebelumnya oleh Kim dan Hong (2008) dengan variasi temperatur 60 °C dan 70 °C serta variasi kelembaban anoda dan atau katoda. Berdasarkan penelitian ini diketahui variasi temperatur tidak terlalu berpengaruh pada kinerja PEMFC dengan kondisi terbaik dicapai pada temperatur 70 °C dengan kelembaban anoda 100% dan kelembaban katoda 80%.

PEMFC dapat dikenai getaran di bawah suatu kondisi lalu lintas yang padat dalam aplikasi transportasi. Pengaruh getaran pada PEMFC dapat mengakibatkan percepatan pembentukan cacat yang berujung kepada kegagalan operasi PEMFC. Getaran dapat memperburuk cacat seperti lubang kecil, retak, yang mengakibatkan *cross-over* umpan, penurunan kinerja, dan mengurangi daya tahan. Penelitian terkait pengaruh getaran dilakukan sebelumnya oleh Diloyan dengan getaran dalam rentang 20-40 Hz dengan percepatan 1-4 G diberikan pada lapisan katalis platina (Pt). Berdasarkan penelitian ini diketahui *stack* PEMFC yang tidak dikenai getaran memiliki kinerja yang paling rendah, dan kinerja terbaik PEMFC pada getaran 20 Hz dengan percepatan 1 G (Diloyan *et al.*, 2012). Penelitian lainnya dilakukan oleh Rajalakshmi *et al.*, (2009) dengan getaran dalam rentang 20-200 Hz yang diberikan pada baut yang menempel pada *stack*. Berdasarkan penelitian ini diketahui bahwa getaran dalam rentang tersebut tidak menunjukkan adanya perubahan yang signifikan sebelum dan sesudah diberi getaran.

2. BAHAN DAN METODE

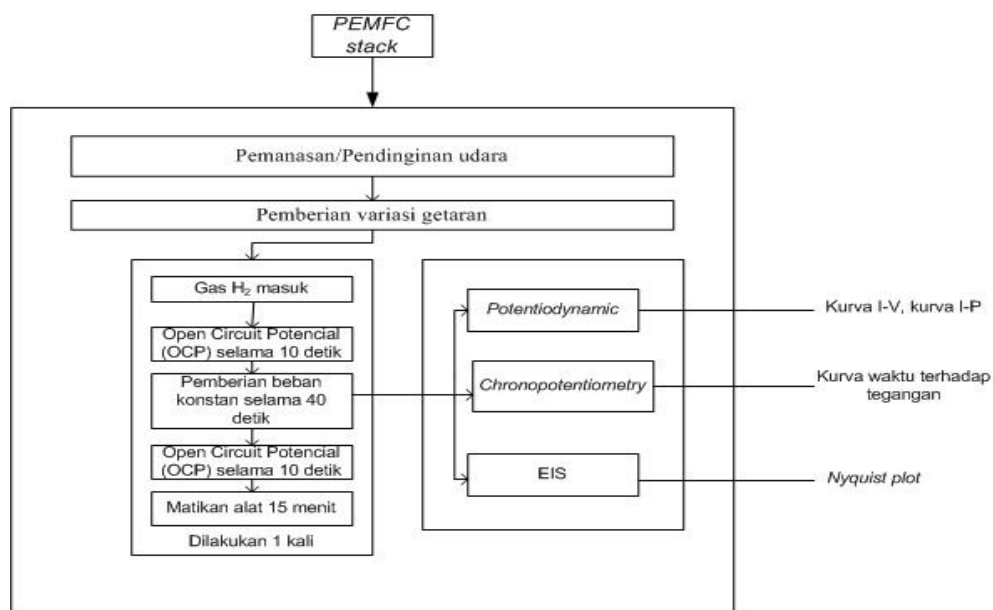
Penelitian dilakukan untuk melihat pengaruh getaran dan temperatur terhadap kinerja PEMFC.

A. Bahan dan Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini berupa PEMFC *stack* komersil dengan daya maksimum 30 W merek Horizon, Potensiostat Gamry V3000 untuk karakterisasi elektrokimia, *ultrasonic bath* dan *heater*. Bahan yang digunakan berupa gas H₂ dengan kemurnian 99% sebagai umpan di anoda dan udara tekan sebagai umpan di katoda.

B. Metode

Diagram alir percobaan ditunjukkan pada Gambar 1. Prosedur kondisi nyala-mati mengacu pada penelitian Oyarce (Oyarce *et al.*, 2011).



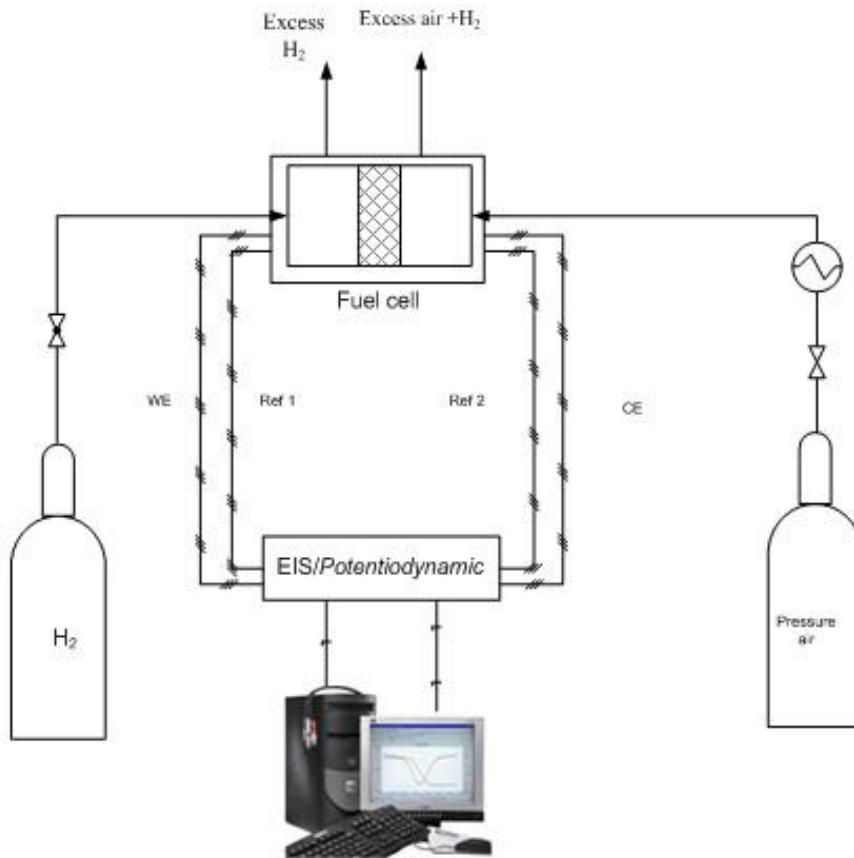
Gambar 1. Diagram alir percobaan

Variasi getaran yang digunakan adalah 20, 110, dan 200 Hz. Variasi temperatur udara yang digunakan berupa 10, 25, dan 40 °C. Variasi beban yang digunakan yaitu 1, 1,5, dan 2 A/cm².

Metode karakterisasi yang digunakan dalam percobaan ini yaitu karakterisasi secara elektrokimia berupa OCP, *potentiodynamic*, *chronopotentiometry* memberikan informasi yang berkaitan dengan kinerja *fuel cell*. Sedangkan EIS memberikan informasi yang berkaitan fenomena perpindahan

E-mail: jurnal.itekima@stack.ac.id

elektron, ion, dan molekul dari *fuel cell*. Gambar 2. merupakan skema rangkaian alat yang digunakan.



Gambar 2. Skema rangkaian alat

Pada penelitian ini ditempuh 15 tempuhan yang diperoleh dengan bantuan perangkat lunak Minitab 16.1. Tempuhan tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi percobaan

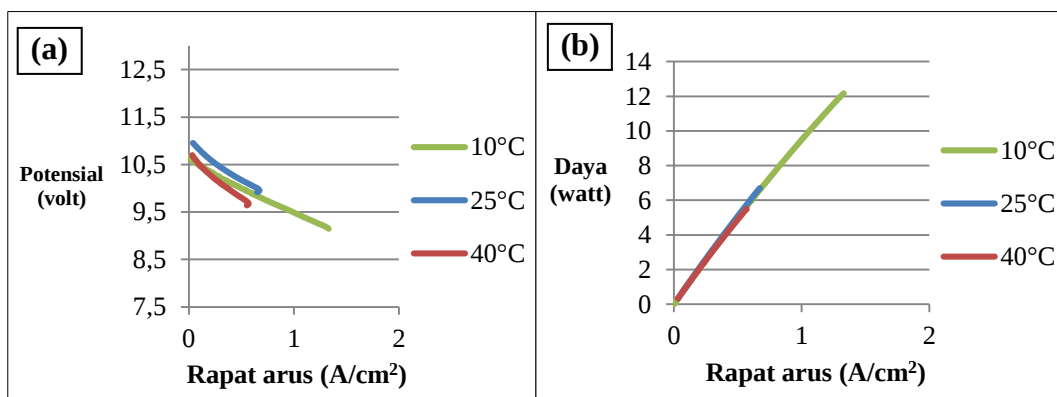
Tempuhan	Getaran (Hz)	Temperatur Udara (°C)	Beban arus (A)
1	20	10	1
2	200	10	1
3	20	40	1
4	200	40	1
5	20	10	2
6	200	10	2
7	20	40	2
8	200	40	2
9	20	25	1.5
10	200	25	1.5
11	110	10	1.5
12	110	40	1.5
13	110	25	1
14	110	25	2
15	110	25	1.5

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi stack PEMFC dilakukan sesuai dengan Tabel 1. Hasil karakterisasi dibagi menjadi tiga bagian, efek temperatur, efek getaran, dan efek beban konstan.

A. Efek temperatur terhadap kinerja PEMFC

Variasi temperatur yang dilakukan pada penelitian ini adalah 10 °C, 25 °C, dan 40 °C. Temperatur 25 °C merepresentasikan temperatur normal di Indonesia, sedangkan 40 °C merepresentasikan musim panas/kemarau di Indonesia. Kurva *potentiodynamic* dengan variasi suhu dapat dilihat pada Gambar 3.

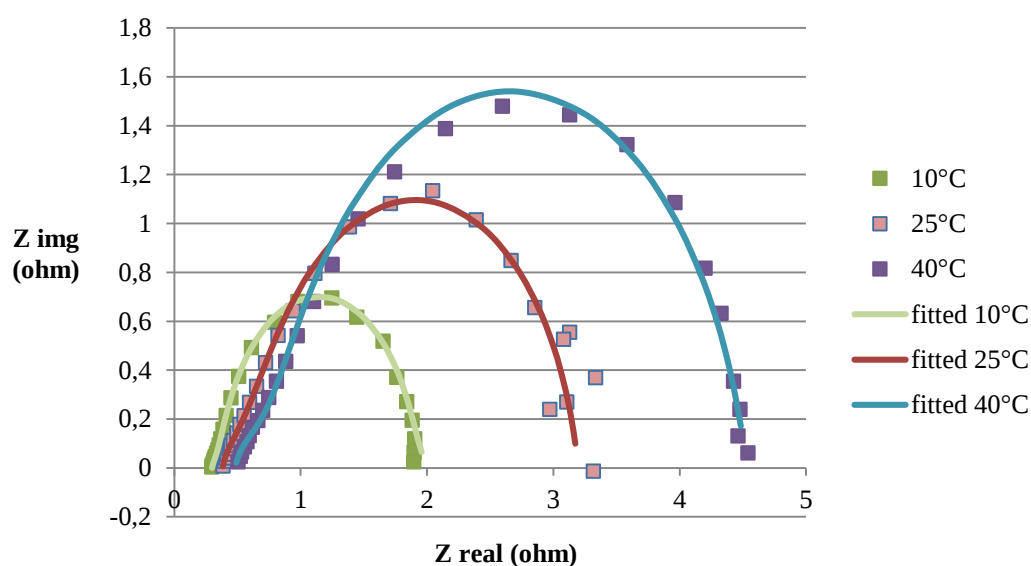


Gambar 3. Hubungan potensial-rapat arus (a), dan daya-rapat arus (b) PEMFC yang dioperasikan dengan getaran 110 Hz dan beban arus 1,5 A

Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat kecenderungan garis yang menunjukkan daerah polarisasi tertentu, yaitu daerah polarisasi *ohmic* yang dimaknai sebagai kemampuan *stack* PEMFC mempertahankan potensialnya agar tidak turun secara drastis bila beroperasi pada arus yang lebih tinggi. Pada kondisi temperatur 40°C, diduga membran menjadi kering. Membran yang kering akan menurunkan PEMFC dapat dilihat juga kurva I-P yang disajikan pada Gambar 3.b untuk mengetahui daya yang dihasilkan oleh PEMFC, dengan puncak kurva tersebut merupakan daya maksimum yang dihasilkan. Daya maksimum yang dihasilkan pada variasi temperatur 10 °C, 25 °C, dan 40 °C adalah 12,2; 6,7; dan 5,5 watt. Daya maksimum PEMFC menurun seiring dengan kenaikan temperatur.

Pada temperatur 25 °C dan 40 °C, kenaikan getaran justru memperburuk kondisi *stack* PEMFC sehingga menurunkan daya yang dihasilkan konduktivitas

proton di membran (Sirliyani, 2015). Temperatur operasi untuk PEMFC berada pada rentang 60 °C – 80 °C, karena PEMFC mengalami reaksi elektrokimia yang bersifat eksotermik maka temperatur udara optimal berada pada temperatur 30 °C – 35°C. Temperatur udara di atas 35°C, diduga membuat membran MEA menjadi terlalu kering sehingga meningkatkan *ohmic losses* yang menurunkan kinerja PEMFC (Rosa *et al.*, 2007). Pengaruh variasi temperatur pada kinerja PEMFC juga dapat dilihat dari nilai impedansi untuk perpindahan muatan dan perpindahan massa, berupa Nyquist *plot* yang disajikan pada Gambar 4.



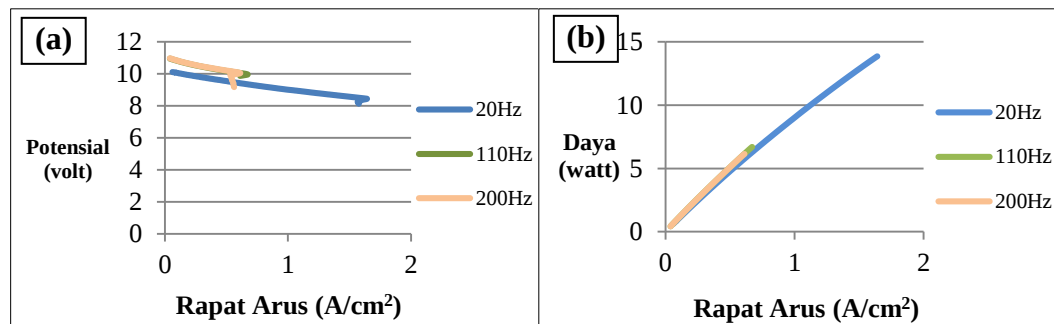
Gambar 4. Kurva Nyquist dari *stack* PEMFC, *fitted*, setelah dioperasikan dengan getaran 110 Hz dan beban arus 1,5 A

Setengah lingkaran pertama merepresentasikan impedansi perpindahan muatan pada PEMFC. Nilai impedansi perpindahan muatan pada temperatur 10 °C, 25 °C, dan 40 °C yaitu 0,38; 0,5; dan 0,66. Nilai impedansi perpindahan muatan terbesar didapat pada variasi temperatur 40 °C, karena pada temperatur tersebut membran menjadi relatif lebih kering sehingga konduktivitas proton terganggu dan perpindahan proton pun menjadi terganggu. Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat bahwa lebarnya kurva bertambah seiring dengan kenaikan temperatur. Kondisi membran relatif tidak kering pada temperatur 25 °C serta kandungan oksigen dalam udara cukup untuk berjalannya reaksi elektrokimia di dalam *stack* PEMFC. Sedangkan pada temperatur 40 °C, seperti telah dijelaskan

sebelumnya kenaikan temperatur ini mengakibatkan membran menjadi kering sehingga oksigen sulit untuk berdifusi. Kesulitan difusi ini dapat dilihat dengan nilai tahanan perpindahan massa pada temperatur 40 °C yaitu 3,511 ohm yang lebih besar jika dibandingkan dengan variasi temperatur lain.

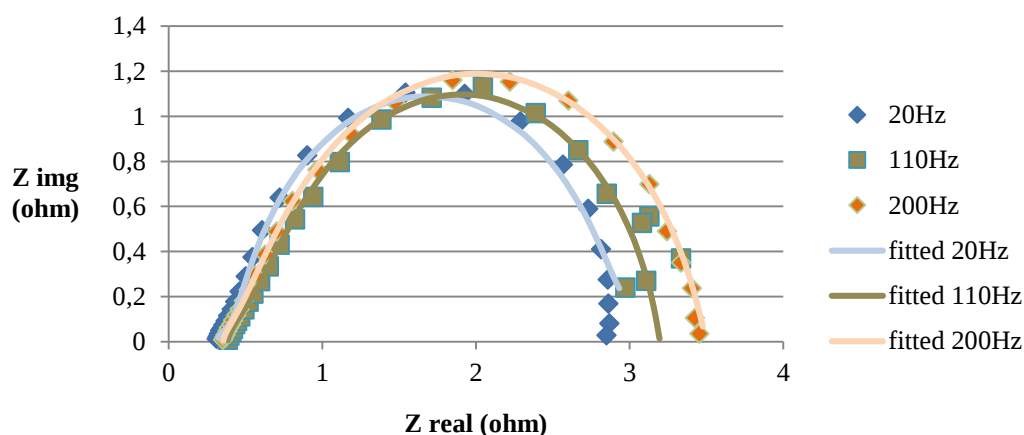
B. Efek getaran terhadap kinerja PEMFC

Getaran yang diujikan pada penelitian ini adalah 20 Hz, 110 Hz, dan 200 Hz. Getaran 20 Hz merepresentasikan saat kendaraan berada pada jalan normal, getaran 200 Hz merepresentasikan saat kendaraan melewati lubang cukup besar. Hasil *potentiodynamic* pada variasi getaran disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hubungan potensial-rapat arus (a) dan daya-rapat arus (b) PEMFC setelah dioperasikan dengan temperatur 25 °C dan beban arus 1,5 A

Nilai tahanan polarisasi *ohmic* mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan getaran. Hal ini dapat terjadi karena pada getaran 200 Hz, upaya *stack* PEMFC untuk mempertahankan dayanya tidak mencapai rapat arus yang cukup tinggi. Kenaikan getaran mengakibatkan menurunnya daya maksimum yang dihasilkan oleh PEMFC. Getaran yang cukup tinggi mengakibatkan reposisi proton pada gugus $\text{-SO}_3\text{H}$ sehingga membuat difusi proton H^+ melewati membran semakin sulit (Ahmed *et al.*, 2011). Selain itu, untuk melihat nilai impedansi perpindahan muatan dan perpindahan massa dapat dilihat Nyquist *plot* pada Gambar 6.

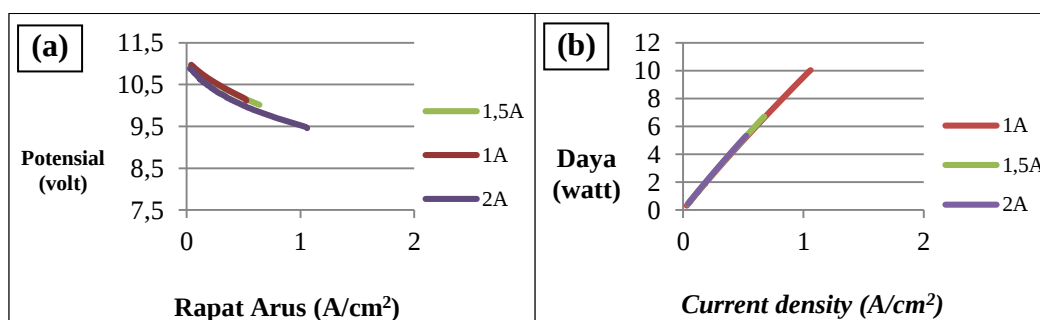


Gambar 6. Kurva Nyquist stack PEMFC, *fitted*, setelah dioperasikan dengan temperatur 25°C dan beban arus 1,5 A

Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat bahwa perbedaan lebar kurva dari ketiga variasi getaran tersebut tidak terlalu signifikan. Namun masih dapat dilihat bahwa dengan adanya kenaikan getaran maka lebar kurva bertambah. Adapun nilai impedansi perpindahan muatan pada variasi getaran 20 Hz, 110 Hz, dan 200 Hz yaitu 0,2 ohm, 0,5 ohm, dan 0,5 ohm. Nilai tahanan perpindahan muatan yang serupa didapatkan pada getaran 110 Hz dan 200 Hz, karena pada kedua getaran tersebut mulai terjadi reposisi proton pada gugus SO_3H .

C. Efek beban konstan terhadap kinerja PEMFC

Beban arus yang diujikan pada penelitian ini adalah 1 A, 1,5 A, dan 2 A. Hasil *potentiodynamic* untuk variasi beban arus konstan disajikan pada Gambar 7.

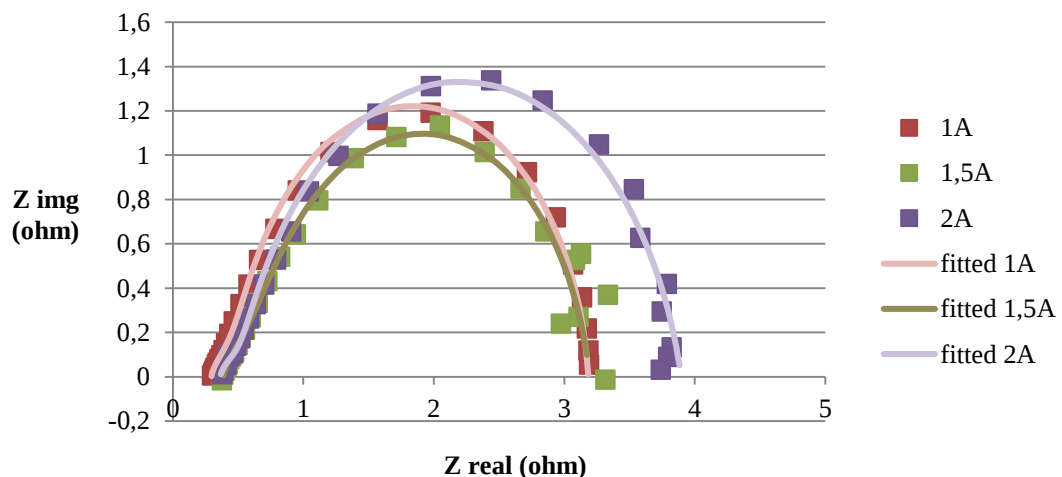


Gambar 7. Hubungan potensial-rapat arus (a) dan daya-rapat arus (b) PEMFC setelah dioperasikan dengan getaran 110 Hz dan temperatur 25°C

Tahanan polarisasi *ohmic* pada variasi beban konstan 1 A, 1,5 A dan 2 A yaitu 0,277; 0,28; dan 0,277. Nilai tahanan polarisasi *ohmic* ini serupa karena diduga *stack* PEMFC berupaya mempertahankan dayanya pada setiap variasi beban arus konstan.

Kurva respon daya terhadap arus untuk variasi beban konstan dapat dilihat pada Gambar 7(b) dengan puncak kurva merupakan daya maksimum. Daya maksimum yang dicapai pada variasi beban konstan 1 A, 1,5 A, dan 2 A telah disajikan yaitu 10 watt, 6,7 watt, dan 5,32 watt. Daya maksimum menurun seiring dengan kenaikan beban arus, hal ini terjadi karena meningkatnya beban arus mengakibatkan *stack* PEMFC semakin sulit untuk mempertahankan daya yang dihasilkannya.

Impedansi *stack* PEMFC diperoleh melalui EIS berupa kurva Nyquist yang telah dicocokkan dengan suatu model ekuivalen dengan *fuel cell*. Untuk variasi beban arus, Nyquist *plot* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Kurva Nyquist *stack* PEMFC, *fitted*, setelah dioperasikan dengan getaran 110 Hz dan temperatur 25°C

Berdasarkan Gambar 8 dapat dilihat bahwa dengan adanya kenaikan beban arus maka lebar kurva pun bertambah. Hal ini dapat dijelaskan oleh impedansi perpindahan muatan dan impedansi perpindahan massa. Setengah lingkaran pertama yang merepresentasikan impedansi perpindahan muatan tidak terlalu terlihat di dalam kurva. Adapun nilai impedansi perpindahan muatan pada variasi

beban arus 1 A, 1,5 A, dan 2 A yaitu 0,3 ohm, 0,5 ohm, dan 0,3 ohm. Nilai impedansi perpindahan muatan pada beban arus 1,5 A lebih besar dari kedua variasi lainnya. Hal ini disebabkan oleh pada beban arus 1,5 A *stack* PEMFC tidak mampu mempertahankan dayanya sehingga nilai tahanannya menjadi besar.

Setengah lingkaran yang kedua merepresentasikan impedansi perpindahan massa. Nilai impedansi perpindahan massa pada beban arus 1 A, 1,5 A, dan 2 A telah disajikan pada Tabel IV.1 yaitu 2,607; 2,35; 3,327 ohm. Nilai tahanan terkecil justru didapat dari pembebanan arus 1,5 A, hal ini terjadi karena pada beban arus 1,5 A, *stack* PEMFC dipaksa memproduksi air dari hasil reaksi elektrokimia. Air ini kemudian berdifusi sehingga membuat membran PEMFC relatif lebih basah dan meningkatkan konduktivitas proton, yang mengakibatkan nilai impedansi menurun. Namun, pada saat pembebanan arus 2 A, *stack* PEMFC tidak mampu memproduksi air seiring dengan kenaikan arus, sehingga impedansinya pun meningkat.

4. KESIMPULAN

Kenaikan temperatur udara, getaran, dan beban arus menyebabkan menurunnya kinerja PEMFC dapat dilihat dengan menurunnya daya maksimum PEMFC, meningkatnya tahanan polarisasi *ohmic*, impedansi perpindahan muatan dan impedansi perpindahan massa. Menurut hasil analisis varian dari minitab, faktor yang paling mempengaruhi kinerja PEMFC adalah temperatur.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada laboratorium *Process Safety and Corrosion Control*, Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Bandung.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmed HEU, Banan R, Zu JW, & Bazylak A. 2011. Free Vibration Analysis of A Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell, *Journal of Power Sources*. 196. 5520-5525.

- Belkhir Z, Zeroual M, Ben Moussa H, & Zitouni B. 2011. Effect of Temperature and Water Content on The Performance of PEMFC. *Revue des Energies Renouvelables*. 14. 121-130.
- Diloyan G, Sobel M, Das K, & Hutapea P. 2012. Effect of Mechanical Vibration on Platinum Particle Agglomeration and Growth in Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell Catalyst Layers. *Journal of Power Sources*. 214. 59-67.
- Kim S, & Hong I. 2008. Effect of Humidity and Temperature on A Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) Stack. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 14. 357-364.
- Rajalakshmi N, Pandian S, & Dhathathreyan KS. 2009. Vibration Tests on PEM Fuel Cell Stack Usable in Transportation Application. *International Journal of Hydrogen Energy*. 34. 3833-3837.
- Sammes N. 2006. Fuel Cell Technology Reaching Towards Commercialization. Springer, Colorado.
- Santa Rosa DT, Pinto DG, Silva VS, Silva RA, & Rangel CM. 2007. High Performance PEMFC Stack With Open-Cathode at Ambient Pressure and Temperature Conditions. *International Journal of Hydrogen Energy*. 32, 4350-4357.
- Sirliyani. 2015. Pengaruh Temperatur Hidrogen dan Beban Terhadap Kinerja *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) dengan Operasi Nyala Mati. [Tesis]. Departemen Teknik Kimia. Institut Teknologi Bandung.
- Williams MC. 2004. Fuel Cell Handbook, Seventh Edition. EG & G Technical Services, Inc., Morgantown.
- Yu Y, Li H, Wang H, Yuan XZ, Wang G, & Pan M. 2012. A Review on Performance Degradation of Proton Exchange Membrane Fuel Cells During Startup and Shutdown Processes: Causes, Consequences, and Mitigation Strategies, *Journal of Power Sources*, 205, 10–23.