

# Analisis Pengaruh Variasi Rasio Berat Nafion/Karbon pada Lapisan Katalis *Membrane Electrode Assembly* terhadap Performa Elektrokimia PEM *Fuel Cell* (PEMFC)

Muhamad Akbar Wicaksono, Lukman Noerochim, dan Agung Purniawan  
Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
*e-mail:* lukmanits@gmail.com

**Abstrak**—Saat ini, penggunaan *fuel cell* semakin meningkat dari tahun ketahun, hal tersebut terjadi karena *fuel cell* memiliki efisiensi tinggi, dan ramah terhadap lingkungan. Akan tetapi terdapat permasalahan terkait kinerja *fuel cell*, dan biaya pembuatan yang relatif mahal, oleh karena itu dilakukan pengembangan pada *Membrane Electrode Assembly* (MEA) yang merupakan bagian paling vital dan mahal pada PEMFC, untuk dapat meningkatkan pemanfaatan Pt dan luas permukaan elektrokimia aktif. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis variasi rasio berat nafion dengan karbon penyangga (N/C) yaitu 0,45, 0,6, dan 0,75 pada lapisan katalis MEA terhadap morfologi dan performa PEMFC. Metode deposisi yang digunakan pada penelitian ini adalah *doctor blade method*. Berdasarkan hasil pengujian SEM sampel lapisan katalis dengan rasio berat N/C 0,6 terbentuk agregat nafion pada katalis Pt-C dan nafion membentuk ikatan yang seragam dan terhubung, pada pengujian *cyclic voltammetry* didapat nilai *electrochemical surface area* sebesar 37 m<sup>2</sup>/g. Dan hasil pengujian EIS, dengan nilai *Rct* terendah yaitu sebesar 91,59 Ω.cm<sup>2</sup>, serta mendapatkan nilai *power density* tertinggi pada pengujian polarisasi yaitu sebesar 6,75 mW.cm<sup>-2</sup>.

**Kata Kunci**—*Doctor Blade Method, Fuel cell, Katalis Pt-C, MEA, Rasio N/C.*

## I. PENDAHULUAN

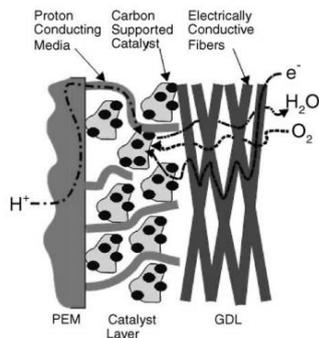
MENINGKATNYA kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat, membuat kebutuhan akan bahan baku fosil juga semakin meningkat, sedangkan bahan baku fosil semakin berkurang dari tahun ke tahun. Menurut EIA (*Energy Information Association*) konsumsi listrik dari fosil pada tahun 2020 yaitu sebesar 54,133 Trillion BTU. Untuk mengatasi permintaan akan energi listrik yang tinggi sedangkan sumber bahan baku semakin berkurang yaitu menggunakan energi terbarukan, salah satunya yaitu *fuel cell*, dimana bahan baku yang diperlukan hanya berupa gas hidrogen yang dihasilkan melalui proses elektrolisis air.

Tingkat penggunaan *fuel cell* khususnya dalam bidang transportasi mengalami peningkatan, berdasarkan analisis yang dilakukan perusahaan marketing analysis, diprediksi pada tahun 2028 penggunaan *fuel cell* mengalami peningkatan sebesar 932,6 ribu unit dengan laju pertumbuhan majemuk tahunan sebesar 69,7%, akan tetapi material platinum yang digunakan sebagai katalis sangat langka sehingga membuat harga *fuel cell* relatif tinggi dibandingkan mesin konvensional. Untuk meningkatkan performa *fuel cell* tanpa harus meningkatkan pemuatan Pt dalam lapisan katalis, beberapa penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa peningkatan performa *fuel cell* dapat dilakukan dengan

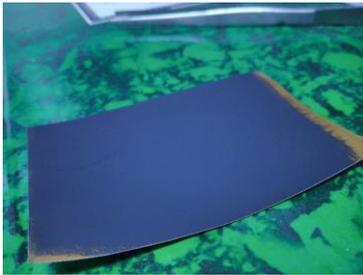
mengoptimalkan pemanfaatan Pt dan struktur pada lapisan katalis atau bahkan mengurangi pemuatan Pt untuk mengurangi biaya produksi.

*Proton Exchange Membrane Fuel cell* merupakan perangkat elektrokimia yang mengubah gas reaktan melalui reaksi elektrokimia menjadi energi listrik dan panas dengan efisiensi yang tinggi [1]. Komponen penyusun PEMFC meliputi, pelat akhir, pelat isolator listrik, pengumpul arus anoda, gasket, GDL anoda, MEA [2]. Kunci utama untuk meningkatkan performa sebuah PEMFC yaitu terdapat pada *membrane electrode assembly* (MEA) *fuel cell*. MEA terdiri dari elektroda anoda, membran elektrolit, dan elektroda katoda dimana reaksi elektrokimia terjadi [3]. Elektroda pada MEA disusun dari beberapa komponen yaitu *gas diffusion layer* (*carbon paper*), *microporous layer* dan lapisan katalis. Lapisan katalis berdasarkan jenis pengikat partikel katalis dan karbon dibedakan menjadi dua yaitu pengikat dengan sifat hidrofobik (*Polytetrafluoro Ethylene*) dan hidrofilik (*perfluorosulfonate acid/Nafion*). *The Perfluorosulfonic Acid (PFSA) Polymer* banyak digunakan sebagai *binder* dan ionomer dikarenakan memiliki sifat konduktivitas proton dan kestabilan kimia yang tinggi sehingga dapat membantu peningkatan performa PEMFC. Polimer PFSA terdiri dari rantai utama poli- (tetrafluoroetilen) (PTFE) yang bersifat hidrofobik dan rantai samping hidrofilik yang diakhiri dengan gugus asam sulfonat, struktur PFSA diilustrasikan pada Gambar 1 [5]. Tulang punggung PTFE memberikan kekuatan mekanis dengan terlibat dalam pembentukan struktur kristal, sedangkan gugus asam sulfonat rantai samping memfasilitasi transpor proton dengan terlibat dalam pembentukan jalur transpor ion [4].

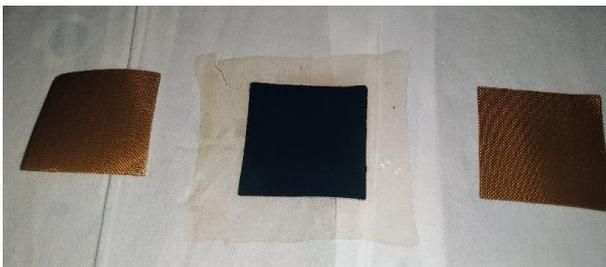
Lapisan katalis pada *Proton Exchange Membrane Fuel cell* (PEMFC) membentuk struktur berpori yang terdiri dari nanopartikel platinum yang didukung nanomaterial karbon, dan lapisan ionomer tipis yang melapisi nanopartikel platinum dan karbon. Terdapat tiga macam spesi yang berpartisipasi dalam reaksi elektrokimia yaitu gas reaktan, elektron dan proton, sehingga reaksi tersebut dapat berlangsung. Elektron berdifusi melalui padatan penghantar listrik yaitu kertas karbon dan karbon penyangga katalis menuju katalis Pt, sedangkan untuk proton berdifusi menuju katalis Pt melalui lapisan nafion yang terbentuk diantara partikel Pt dan karbon. Sedangkan gas reaktan berdifusi menuju katalis Pt melewati pori – pori yang terbentuk diantara agregat katalis Pt/C dengan nafion ionomer. Aktivitas difusi gas, elektron dan proton dapat dilihat pada



Gambar 1. Transpor proton, elektrom dan gas reaktan pada elektroda PEMFC.



Gambar 2. Hasil deposisi tinta katalis pada substrat teflon.



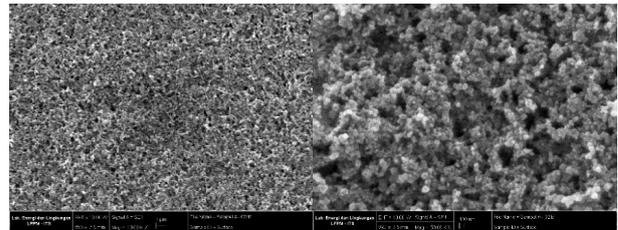
Gambar 3. MEA katalis Pt-C.



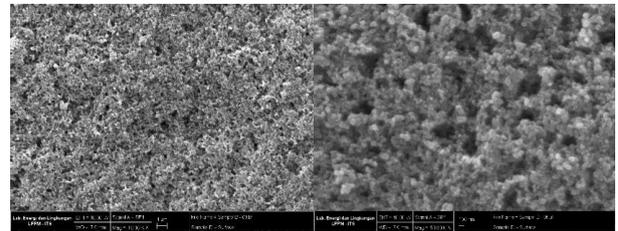
Gambar 4. Single Cell Fuel Cell.

Gambar 1 yang merupakan gambar skematik struktur lapisan katalis [6].

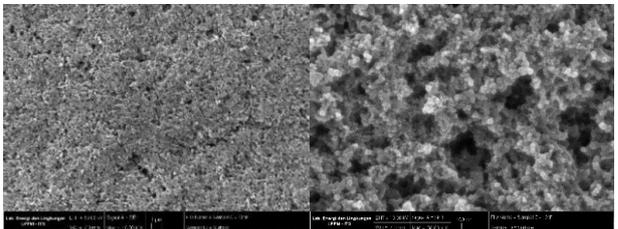
Struktur, ukuran dan distribusi sebaran pori dalam lapisan katalis perlu diperhatikan untuk menghasilkan aliran air, gas reaktan, proton dan elektron yang efektif sehingga membantu meningkatkan performa *fuel cell* [7]. Nafion (PFSA) memfasilitasi pengangkutan proton yang diperlukan untuk reaksi ORR, Nafion juga memfasilitasi akses gas reaktan menuju lokasi katalis dan pengangkutan air keluar dari tempat terjadinya reaksi elektrokimia. Tegangan dan kepadatan daya rendah yang diamati dalam kurva polarisasi sel bahan bakar dalam kepadatan arus yang rendah dan tinggi sering kali disebabkan oleh keterbatasan dalam kinetika elektrokimia dan transportasi massa yang buruk di dalam lapisan katalis. Demikian juga, kehilangan ohmik yang



Gambar 5. Hasil pengujian SEM rasio N/C 0,45 dengan perbesaran (a) 10.000x (b) 50.000x.



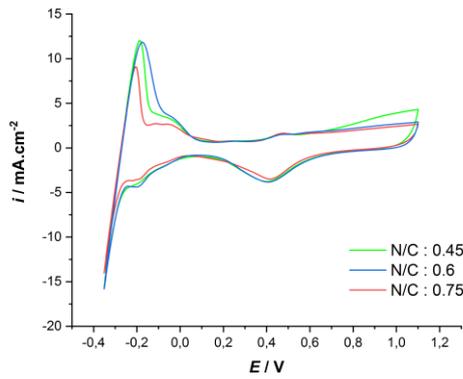
Gambar 6. Hasil pengujian SEM rasio N/C 0,6 dengan perbesaran (c) 10.000x (d) 50.000x.



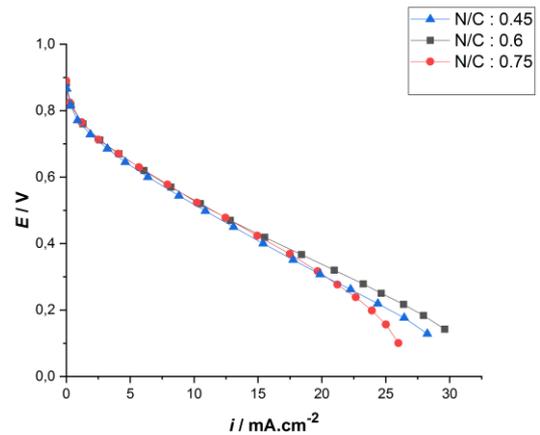
Gambar 7. Hasil pengujian SEM rasio 0,75 dengan perbesaran (e) 10.000x (f) 50.000x.

diamati dalam densitas arus sedang, biasanya dikaitkan dengan resistansi proton membran, dan dapat juga disebabkan oleh konduktivitas proton yang buruk dari Nafion ionomer dalam lapisan katalis. Semua kehilangan ini dapat diperburuk atau dikurangi dengan sifat dan distribusi nafion ionomer. Distribusi nafion ionomer yang tidak merata sangat mungkin terjadi pada lapisan katalis sehingga mempengaruhi pengangkutan gas reaktan, air dan proton.

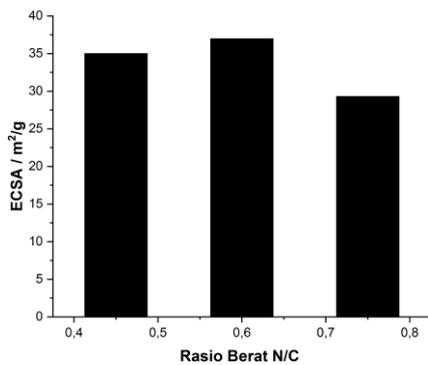
Penelitian pengaruh rasio berat nafion/ karbon pada lapisan katalis MEA terhadap performa elektrokimia PEM *Fuel cell* ini memiliki beberapa referensi dari penelitian sebelumnya. Penelitian sebelumnya memiliki beberapa kesamaan diantaranya parameter penelitian, metode penelitian dan material yang digunakan. Seperti yang dilakukan oleh Alink Robert, dkk yaitu studi parametrik lengkap dilakukan untuk mengetahui pengaruh kandungan ionomer, pemuatan katalis, dan jenis katalis terhadap transport oksigen dan proton pada lapisan katalis sel PEMFC [8]. Pada penelitian tersebut menunjukkan perbedaan pada kepadatan arus yang dihasilkan dengan jumlah kandungan nafion yang berbeda. Sebelumnya pada tahun 2018 penelitian dilakukan oleh Lee, dkk dengan melakukan pembuatan lapisan katalis dengan variasi nafion/karbon yang berbeda dan penambahan pelarut organik, hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pengaruh jumlah nafion mempengaruhi performa elektrokimia yang dihasilkan dan penambahan pelarut organik juga mempengaruhi struktur lapisan katalis yang dihasilkan sehingga mempengaruhi performa elektrokimianya, dimana tinta katalis dengan pelarut air memiliki nilai ECSA, dan kepadatan arus paling tinggi dibandingkan sampel lain [9]. Pada tahun sebelumnya yaitu pada tahun 2012 penelitian yang dilakukan Young Jung, dkk



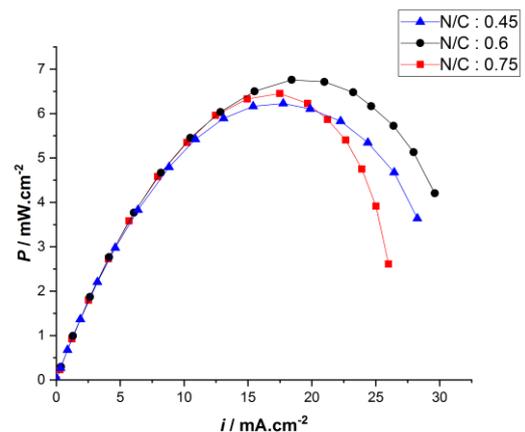
Gambar 8. Cyclic Voltammogram MEA N/C 0.45, N/C 0.6 dan N/C 0.75.



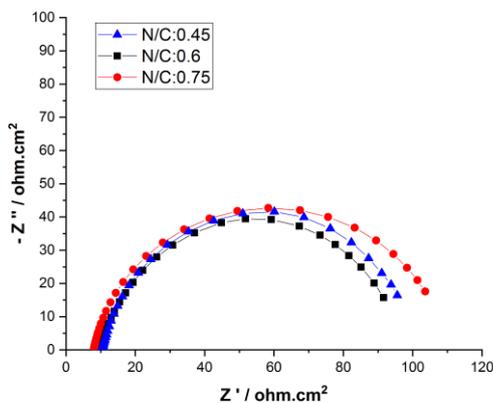
Gambar 11. Kurva I-V elektroda katoda dengan variasi rasio berat N/C.



Gambar 9. Diagram Nilai ECSA MEA N/C 0.45, N/C 0.6, dan N/C 0.75.



Gambar 12. Kurva Power Density untuk sampel N/C :0,45; 0,6; 0,75.



Gambar 10. Nyquist Plot lapisan katalis dengan variasi rasio berat N/C.

memiliki kesamaan dengan penelitian lee, dimana lapisan katalis dengan rasio N/C 0.5 dan rasio pelarut dengan karbon 12 memiliki hasil ECSA terbaik dan pemanfaatan Pt yang tinggi [10]. Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Yudianti,dkk pada tahun 2013 melakukan pembuatan GDL dengan variasi rasio N/C dan pemuatan Pt yang berbeda untuk setiap sampel [7]. Yudianti mengamati morfologi struktur lapisan katalis yang terbentuk dengan bertambahnya jumlah nafion dan pemuatan Pt. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan nafion ionomer dapat meningkatkan ukuran agregat yang terbentuk, sehingga ukuran mikropori yang terbentuk juga meningkat. Sedangkan pemuatan Pt tidak selalu berbanding lurus dengan hasil ECSA

dan Pt aktif yang tinggi, terdapat batas optimal pemuatan Pt untuk menghasilkan kinerja elektrokatalis yang tinggi.

## II. METODOLOGI

Dalam ulasan ini dibahas pengaruh penambahan jumlah nafion pada lapisan katalis *membrane electrode assembly* terhadap performa elektrokimia PEMFC.

### A. Material

Adapun material yang diulas pada penelitian ini yaitu tinta katalis yang terdiri dari katalis Pt-C, larutan Nafion 1100 EW, dan beberapa larutan pelarut yaitu *isopropyl alcohol* (IPA), *Deionized Water*, dan *Ethylene Glycol*, sedangkan material MEA lainnya yaitu membran Nafion 115, dan *carbon paper Avcarb (GDS1120)*.

### B. Tahapan Penelitian

Adapun beberapa tahapan proses yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh rasio nafion/karbon terhadap performa elektrokimia lapisan katalis *single cell fuel cell* yaitu, pembuatan tinta katalis dengan melakukan pencampuran katalis Pt-C, Nafion dan pelarut menggunakan *ultrasonic bath* selama 60 menit. Selanjutnya tahapan deposisi tinta katalis menggunakan *coater blade* pada permukaan kertas teflon, setelah itu dilakukan pengeringan. Tahap selanjutnya dilakukan transfer lapisan katalis menuju membran elektrolit menggunakan metode *decal transfer* dengan menggunakan mesin *hot press* sebagai alat transfer lapisan katalis. Setelah

lapisan katalis tertransfer sempurna penyusunan MEA dilakukan dengan penambahan GDL setiap masing-masing sisi. Tahapan terakhir penyusunan MEA *single cell fuel cell* dengan komponen *bipolar plate*, *current collector*, dan *end plate* menjadi *single cell fuel cell*.

C. Variabel Pembahasan

Variabel pembahasan ditentukan berdasarkan rasio berat nafion/karbon terhadap morfologi dan performa elektrokimia lapisan katalis. Variabel rasio berat yang digunakan yaitu N/C 0,45, N/C 0,6, dan N/C 0,75. Morfologi permukaan lapisan katalis didapatkan dari hasil pengujian *Scanning Electron Microscope*, sedangkan performa elektrokimia didapatkan dari hasil pengujian *Cyclic Voltametry*, *Electrochemical Impedance Spectroscopy*, dan *DC Electronic Load*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ulasan ini membahas hasil pengujian *Scanning Electron Microscope* untuk mengetahui morfologi lapisan katalis, dan pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy*, *Cyclic Voltametry* dan *DC Electronic Load* untuk mengetahui performa elektrokimia *fuel cell*.

A. Deposisi Lapisan Katalis Pt-C dan Fabrikasi MEA PEMFC

Berdasarkan pengamatan secara visual hasil deposisi tinta katalis Pt-C menggunakan *coater blade* pada substrat menunjukkan lapisan katalis dengan ketebalan permukaan yang rata seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Setelah itu dilakukan penyusunan MEA menggunakan *hot press* dengan tekanan 6 mPa dan temperatur 120 °C.

Berdasarkan hasil MEA setelah dilakukan pengepresan menggunakan *hot press*, lapisan katalis tertransfer sempurna ke membran elektrolit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. dan siap dilakukan penyusunan *single cell fuel cell* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

B. Pengujian SEM Permukaan Lapisan Katalis Pt-C

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan lapisan katalis Pt-C akibat variasi rasio berat nafion/karbon dengan beberapa kali perbesaran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, 6 dan 7.

Berdasarkan gambar hasil pengujian SEM dilakukan perhitungan ukuran aglomerat dan persentase pori yang terbentuk setiap sampel MEA menggunakan software imageJ, hasil perhitungan ukuran aglomerat dan persentase pori dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil perhitungan ukuran aglomerat sampel MEA dengan rasio N/C 0,45, N/C 0,6 dan N/C 0,75 menunjukkan kenaikan ukuran aglomerat yang terbentuk sesuai dengan penelitian yang dilakukan Holia, dkk yaitu terbentuknya agregat yang semakin besar ketika bertambahnya jumlah nafion, hal itu terjadi dikarenakan nafion membentuk lapisan tipis pada permukaan katalis akibat interaksi molekular antara nafion ionomer dengan pelarut pada kondisi koloid yang akan membentuk struktur mikro berupa agregat katalis [7]

Sedangkan persentase pori yang terbentuk berdasarkan perhitungan menggunakan software imageJ mengalami penurunan nilai persentase dengan bertambahnya jumlah nafion dalam lapisan katalis sesuai dengan penelitian yang

Tabel 1. Perbandingan nilai ukuran aglomerat dan presentase pori spesimen MEA

Spesimen	Ukuran Aglomerat (nm)	Presentase Pori (%)
MEA N/C 0,45	79,3	37,87
MEA N/C 0,6	85,78	27,06
MEA N/C 0,75	91,87	19,9

Tabel 2. Perbandingan nilai ECSA dan Pt Utilization

MEA	N/C 0,45	N/C 0,6	N/C 0,75
ECSA (m <sup>2</sup> /g)	35,04	37	29,39
Pt Utilization	75,17%	80,4%	63,04%

Tabel 3. Perbandingan nilai R ohm dan Rct MEA dengan N/C 0,45, N/C 0,6, N/C 0,75

Variasi Rasio Berat Naion/Carbon Support Catalyst	Ohmic Resistance (R <sub>Ω</sub> ) Ω . cm <sup>2</sup>	Charge Transfer Resistance (R <sub>ct</sub> ) Ω . cm <sup>2</sup>
0,45	10,4	95,55
0,6	8,9	91,59
0,75	8,2	103,6

dilakukan oleh Lee, dkk yaitu lapisan katalis dengan penambahan nafion ionomer sebesar 35% memiliki hasil performa yang lebih rendah dibandingkan penambahan nafion dibawah 35 %, hal tersebut terjadi karena lapisan nafion menutup jalur *mass transport* (pori) [11].

C. Pengujian Cyclic Voltametry

Pengujian CV pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui area elektrokimia aktif dan *Pt utilization* pada lapisan katalis elektroda katoda, yang didapatkan dari perhitungan daerah hydrogen adsorption pada *cyclic voltammogram* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.

Berdasarkan perhitungan nilai ECSA pada penelitian ini mengalami peningkatan dari lapisan katalis N/C 0,45 sebesar 35,04 m<sup>2</sup>/g kemudian dilanjutkan dengan lapisan katalis dengan N/C 0,6 sebesar 37 m<sup>2</sup>/g selanjutnya mengalami penurunan drastis pada rasio N/C 0,75 yaitu sebesar 29,34 m<sup>2</sup>/g, seperti yang ditunjukkan pada diagram Gambar 9. Kejadian ini memiliki kesamaan dengan penelitian yang dilakukan Kim pada tahun 2009 yaitu mengalami kenaikan nilai ECSA dan penurunan drastis setelah penambahan 35 wt. % nafion. Hal yang sama juga terjadi pada penelitian yang dilakukan Robert, dkk pada tahun 2020 dimana nilai ECSA meningkatkan dengan bertambahnya rasio N/C dari 0,29; 0,56 dan terakhir 0,71, setelah itu mengalami penurunan nilai ECSA [8]. Perilaku ini dapat dijelaskan oleh resistansi ionik di dalam lapisan katalis, ketika resistansi ionik lapisan katalis mengalami kenaikan signifikan dan disertai dengan distribusi nafion yang terbentuk buruk, keseluruhan antarmuka katalis/ionomer (ECSA), tidak dapat sepenuhnya digunakan sebagai situs elektrokimia aktif. Hal ini dikarenakan gas reaktan seperti O<sub>2</sub> dan ion H<sup>+</sup> terhambat untuk mengakses situs reaktif [12]. Hal tersebut kompatibel dengan hasil pengujian SEM, dimana lapisan katalis dengan rasio N/C 0,75 memiliki ukuran aglomerat lebih besar dibandingkan rasio N/C 0,6, dan berakibat pada persentase pori yang

terbentuk lebih sedikit, sehingga menghambat *mass transport* dan konduksi proton pada lapisan katalis.

Lapisan katalis dengan rasio berat N/C 0,6 merupakan rasio yang optimal pada penelitian ini dibandingkan sampel lainnya, hal itu terjadi karena distribusi nafion dapat mencakup semua katalis dan agglomerat yang saling terhubung, sehingga dapat meningkatkan konduktivitas proton pada lapisan katalis, dan menghasilkan *electrochemical surface area* dan *Pt utilization* yang tinggi [13].

*Platinum Utilization* dapat dihitung dengan nilai ECSA, hasil nilai *Pt utilization* dapat dilihat pada Tabel 2, dimana MEA dengan N/C 0,6 memiliki nilai tertinggi.

#### D. Pengujian Electrochemical Impedance Spectroscopy

Pengujian EIS pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui *resistance* yang terjadi pada MEA dengan variasi rasio nafion dengan karbon pada lapisan katalis, *resistance* yang terjadi meliputi *ohmic resistance* ( $R_{\Omega}$ ) dan *charge transfer resistance* ( $R_{ct}$ ), pengujian dilakukan pada rentang frekuensi 1 MHz – 100 mHz. Berdasarkan pengujian EIS dihasilkan kurva Nyquist plot seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10, pada kurva nyquist plot terbentuk perbedaan ukuran semicircle, lapisan katalis dengan N/C 0,6 memiliki semicircle paling kecil diantara sampel lainnya yang artinya memiliki nilai *charge transfer resistance* ( $R_{ct}$ ) yang rendah.

Untuk mengetahui nilai  $R_{ct}$  dilakukan fitting pada kurva nyquist plot dengan ECM didapat hasil sebesar  $91,59 \Omega \cdot \text{cm}^2$ , sedangkan untuk lapisan katalis dengan N/C 0,75 mengalami kenaikan  $R_{ct}$  secara signifikan yaitu sebesar  $103,6 \Omega \cdot \text{cm}^2$ , hal tersebut memiliki kesamaan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Yeong, dkk pada tahun 2013 yaitu kenaikan nilai  $R_{ct}$  dengan bertambahnya jumlah nafion, hal tersebut terjadi karena pemuatan nafion pada permukaan katalis Pt-C terlalu tinggi sehingga membentuk agregat dan aglomerat yang cukup besar sehingga menghambat laju  $\text{O}_2$  berdifusi menuju permukaan katalis Pt, serta dapat membuat isolasi listrik dikarenakan sifat nafion yang merupakan material insulasi [12].

Akan tetapi lapisan katalis dengan kandungan nafion yang lebih rendah atau dengan N/C 0,45 memiliki nilai  $R_{ct}$  lebih tinggi dibandingkan dengan lapisan katalis N/C 0,6, yaitu sebesar  $95,55 \Omega \cdot \text{cm}^2$ , nilai  $R_{ct}$  yang lebih besar pada lapisan MEA dengan kandungan Nafion yang lebih rendah juga terjadi pada penelitian Yeong, dkk, kejadian ini terjadi karena jumlah nafion pada lapisan katalis dengan jumlah nafion yang lebih rendah atau lapisan MEA N/C 0,45 pada penelitian ini, tidak mencukupi untuk dapat memberikan akses konduksi proton yang baik sehingga membuat difusi proton ke partikel Pt terhambat di dalam lapisan katalis yang berakibat nilai *charge transfer resistance* meningkat [14]

Dari data pengujian EIS yang didapat pada penelitian ini yang ditunjukkan pada tabel 3 menunjukkan bahwa lapisan katalis pada MEA dengan rasio N/C 0,6 memiliki hasil *charge transfer resistance* paling kecil didukung dengan nilai ECSA yang paling tinggi yang didapat pada pengujian CV. Sedangkan nilai *ohmic resistance* pada penelitian ini menunjukkan variasi hasil dalam kisaran sempit, hal tersebut dipengaruhi oleh proses fabrikasi, beban platinum katalis dan kondisi percobaan untuk setiap MEA hampir sama dalam semua percobaan, sehingga nilai Rohm dapat dianggap konstan untuk semua MEA

#### E. Pengujian DC Electronic Load

Pengujian *DC- Electronic Load* pada penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kurva I-V dimana pada kurva tersebut menggambarkan tiga daerah kehilangan voltase, variasi pemuatan nafion mempengaruhi daerah aktivasi dan konsentrasi pada kurva I-V seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.

Berdasarkan kurva polarisasi lapisan katalis dengan N/C 0,45 menunjukkan gap yang menunjukkan kerugian ohmik, faktor yang memungkinkan mempengaruhi kejadian tersebut yaitu kandungan ionomer yang tidak dapat mencakup semua katalis, sehingga membuat konduktivitas proton yang rendah. Sedangkan lapisan katalis dengan rasio N/C 0,75 memiliki potensial yang tinggi pada kerapatan arus rendah, hal tersebut memiliki kesamaan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Yeong pada tahun 2012 yaitu dengan bertambahnya nafion menghasilkan potensial yang tinggi pada kerapatan arus rendah. Akan tetapi lapisan katalis dengan N/C 0,75 pada kerapatan arus tinggi ( $20 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ ) menghasilkan potensial yang rendah bahkan lebih rendah dibandingkan dengan lapisan katalis dengan N/C 0,45. Dari hasil kurva polarisasi tersebut, menyatakan bahwa dengan kandungan ionomer atau rasio N/C yang tinggi menghasilkan kinerja yang lebih baik pada kerapatan arus rendah dikarenakan kemampuannya untuk membentuk TPB, tetapi ketika pada kerapatan arus tinggi, potensial yang dihasilkan mengalami penurunan drastis dikarenakan interaksi antara  $\text{H}_2\text{O}$  dan nafion yang memiliki sifat hidrofilik yang menyebabkan kemungkinan terjadinya *water flooding* pada struktur lapisan katalis, sehingga dapat menurunkan kemampuan *mass transport* atau menghambat difusi gas  $\text{O}_2$  [12-15]

Dari kurva I-V dapat dihitung power density dari ketiga sampel, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12. MEA dengan rasio N/C: 0,6 memiliki power density terbesar yaitu  $6,75 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2}$  pada kepadatan arus  $18,41 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ , sedangkan untuk MEA dengan rasio N/C 0,75 dan N/C 0,45 yaitu sebesar  $6,45 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2}$  pada kepadatan arus  $17,49 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$  dan  $6,22 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2}$  pada kepadatan arus  $17,75 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ . Dari pengujian single cell ini menunjukkan bahwa lapisan katalis dengan N/C 0,6 merupakan lapisan katalis dengan penambahan nafion yang ideal didukung dengan data hasil pengujian elektrokimia lainnya.

## IV. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian ini yaitu dengan dengan bertambahnya rasio N/C terbentuk aglomerat dengan diameter yang semakin besar, dan terbentuk pori dengan nilai persentase yang semakin kecil. Sedangkan pengaruh penambahan rasio berat nafion/karbon dapat mempengaruhi nilai ECSA lapisan katalis, akan tetapi jika jumlah nafion dalam lapisan katalis terlalu tinggi dapat menurunkan nilai ECSA, dan  $R_{ct}$ . Sedangkan penambahan nafion yang berlebih atau sedikit dapat mempengaruhi power density yang dihasilkan, sehingga pada penelitian ini rasio berat nafion/karbon 0,6 memiliki performa elektrokimia yang ideal.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Pertamina yang telah membiayai penelitian yang bekerja sama dengan

Indonesia dan ITS atas riset kerjasamanya sehingga penelitian ini dapat terdani, dan departemen Teknik Material dan Metalurgi atas dukungan penuh terkait penyediaan Laboratorium Kimia Material, dan beberapa pihak yang telah membantu berjalannya penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Alaswad, A. Palumbo, M. Dassisti, and A. G. Olabi, *Fuel cell Technologies, Applications, and State of the Art. A Reference Guide*. Elsevier Ltd., 2016.
- [2] Z. Zheng, R. Petrone, M.C. Péra, D. Hissel, M. Becherif, C. Pianese, N. Yousfi Steiner, M. Sorrentino, "A review on non-model based diagnosis methodologies for PEM fuel cell stacks and systems," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol 38, pp. 8914-8926, 2013, doi: 10.1016/j.ijhydene.2013.04.007.
- [3] R. R. Rashapov, J. Unno, and J. T. Gostick, "Characterization of PEMFC gas diffusion layer porosity," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 162, no. 6, pp. F603-F612, 2015, doi: 10.1149/2.0921506jes.
- [4] S. H. Shin *et al.*, "Improving the mechanical durability of short-side-chain perfluorinated polymer electrolyte membranes by annealing and physical reinforcement," *ACS Omega*, vol. 4, no. November, pp. 19153-19163, 2019, doi: 10.1021/acsomega.9b02436.
- [5] S. Litster and G. McLean, "PEM fuel cell electrodes," *J. Power Sources*, vol. 130, no. 1-2, pp. 61-76, 2004, doi: 10.1016/j.jpowsour.2003.12.055.
- [6] Frano Barbir, *PEM Fuel cells: Theory and Practice (2nd ed)*. Elsevier Inc, 2005, doi: 10.1016/B978-012078142-3/50013-6.
- [7] H. Onggo and A. Syampurwadi, "Pembuatan gas diffusion electrode dengan teknik screen printing : pengaruh microporous layer terhadap strukturmikro dan kinerja elektrokatalis bahan dan alat," no. April 2012, pp. 253-258, 2013.
- [8] R. Alink *et al.*, "Full parametric study of the influence of ionomer content, catalyst loading and catalyst type on oxygen and ion transport in PEM fuel cell catalyst layers," *Molecules*, vol. 25, no. 7, 2020, doi: 10.3390/molecules25071523.
- [9] M. R. Lee *et al.*, "Effects of ionomer carbon ratio and ionomer dispersity on the performance and durability of meas," *Fuel cells*, vol. 18, no. 2, pp. 129-136, 2018, doi: 10.1002/fuce.201700178.
- [10] C. Y. Jung, W. J. Kim, and S. C. Yi, "Optimization of catalyst ink composition for the preparation of a membrane electrode assembly in a proton exchange membrane fuel cell using the decal transfer," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 37, no. 23, pp. 18446-18454, 2012, doi: 10.1016/j.ijhydene.2012.09.013.
- [11] K. H. Kim *et al.*, "The effects of Nafion® ionomer content in PEMFC MEAs prepared by a catalyst-coated membrane (CCM) spraying method," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 35, no. 5, pp. 2119-2126, 2010, doi: 10.1016/j.ijhydene.2009.11.058.
- [12] C. Y. Ahn, J. Y. Cheon, S. H. Joo, and J. Kim, "Effects of ionomer content on Pt catalyst/ordered mesoporous carbon support in polymer electrolyte membrane fuel cells," *J. Power Sources*, vol. 222, pp. 477-482, 2013, doi: 10.1016/j.jpowsour.2012.09.012.
- [13] R. Friedmann and T. Van Nguyen, "Optimization of the microstructure of the cathode catalyst layer of a pemfc for two-phase flow," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 157, no. 2, p. B260, 2010, doi: 10.1149/1.3264628.
- [14] M. S.-M. Leandro Gonzalez Rodriguez, Roberto Campana Prada, "Study of the influence of Nafion / C composition on electrochemical performance of PEM single cells with ultra-low platinum load," *Hydrog. Energy*, no. xxxx, p. 12, 2020, doi: 10.1016/j.ijhydene.2020.03.114.
- [15] K. Wuttikid, N. Worayos, and K. Punyawudho, "Analysis of catalyst ink compositions for fabricating membrane electrode assemblies in PEM fuel cells," *Chiang Mai Univ. J. Nat. Sci.*, vol. 16, no. 4, pp. 275-281, 2017, doi: 10.12982/CMUJNS.2017.0022.