

Konduktifitas Listrik Komposit Polimer Polipropilena/Karbon Untuk Aplikasi Pelat Bipolar Fuel Cell

Agus Pramono¹, Anne Zulfia²

Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Departemen Metalurgi Material Universitas Indonesia

¹agus.pramono.stmt@gmail.com, ²anne.zulfia@metal.ui.ac.id

Abstrak – Proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) merupakan salah satu sumber energi alternatif yang saat ini sedang dikembangkan untuk mengatasi permasalahan krisis energi dan lingkungan. Salah satu komponen yang mempunyai peran signifikan dalam efisiensi biaya dan proses PEMFC adalah pelat bipolar. Untuk itu diperlukan pelat bipolar yang ringan, murah, dan mudah diproduksi secara massal. Dalam penelitian ini dikembangkan komposit pelat bipolar menggunakan matriks polipropilena (PP), penguat karbon hitam dan grafit elektroda dengan variasi komposisi wt% PP/grafit/CB sebesar 85:10:5; 75:20:5; 65:30:5; dan 55:40:5, sehingga mendapatkan sifat daya hantar listrik yang baik. Sifat-sifat dari komposit yang dihasilkan diuji dengan pengujian konduktivitas. Dari keempat formula, didapatkan bahwa sifat listrik yang paling baik terdapat pada formula empat dengan penambahan grafit sebesar 40 wt%. Formulasi empat memiliki konduktivitas listrik sebesar $2,523E-03$ S/cm. sifat listrik juga belum optimal dikarenakan masih terdapatnya banyak rongga atau pori dalam komposit PP/grafit/CB yang disebabkan oleh udara yang terjebak selama proses penekanan.

Kata kunci : PEM Fuel Cell, komposit polimer, konduktifitas Listrik, pelat bipolar.

Abstract – Proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) is one of the alternative energy sources that are currently being developed to overcome the energy crisis and environmental problems. One of the components that have a significant role in the cost efficiency and the PEMFC is the bipolar plate. It is necessary for bipolar plates are lightweight, inexpensive, and easily mass produced. In this study developed a matrix composite bipolar plates using polypropylene (PP), reinforced by carbon black and graphite electrodes with various compositions wt% PP / graphite / CB at 85:10:5; 75:20:5; 65:30:5, and 55:40:5, so get the properties of good electrical conductivity. The properties of the resulted composites were tested by testing the conductivity, of the four formulas, it was found that the electrical properties are best found in the formula fourth with the addition of 40 wt% graphite. Formulation by fourth caused electrical conductivity of $2.523 E-03$ S / cm. electrical properties are also not optimal due to the presence of many cavities or pores in the composite PP / graphite / CB caused by air trapped during the compression.

Keywords : PEM Fuel Cell, Composites Polymers, Electrical Conductivity, Bipolar Plate.

PENDAHULUAN

Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells (PEMFC) merupakan salah satu jenis fuel cell yang saat ini dikembangkan. PEMFC sendiri memiliki beberapa keunggulan, yaitu efisiensi yang tinggi, kerapatan arus yang tinggi, temperatur aplikasi yang relatif rendah, suplai bahan bakar yang baik, dan waktu pakai yang panjang. Namun, mahalnya biaya produksi PEMFC telah menjadi salah satu penghalang terbesar dalam komersialisasi PEMFC.

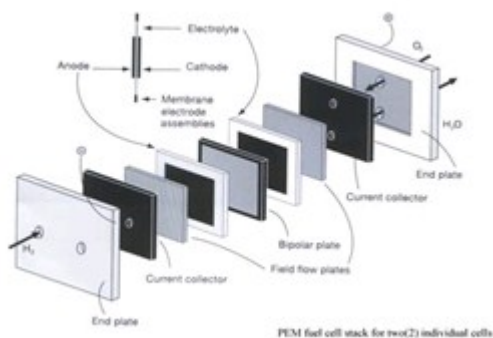
Dalam mereduksi biaya produksi yang dibutuhkan untuk membuat PEMFC, perlu dilakukan pengkajian ulang proses produksi dan material yang digunakan. Salah satu komponen yang paling berpengaruh terhadap biaya produksi PEMFC adalah pelat bipolar (*bipolar plates*). Pelat bipolar sendiri mempengaruhi hingga 80% volume, 70% berat, dan hingga 60% biaya PEMFC. (Yuhua Wang. 2006). Hal ini

berarti dengan mengurangi ukuran, berat, dan biaya bipolar plates yang digunakan, maka kita dapat mengurangi biaya produksi dari PEMFC secara signifikan. Selain itu, diperlukan pula suatu proses produksi massal yang tidak mahal dan efisien. Salah satu cara untuk mereduksi biaya produksi bipolar plates dari PEMFC adalah dengan mengembangkan suatu komposit berbasis polimer termoplastik.

PEMFC

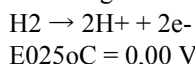
Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells (PEMFC) *Polymer electrolyte membrane* (PEM) fuel cell adalah sebuah perangkat elektrokimia yang mengubah secara langsung energi kimia bahan bakar menjadi energi listrik melalui reaksi berpasangan oksidasi-reduksi. (Yuhua Wang.2006). PEMFC memiliki beberapa komponen primer yang memegang peranan penting dalam menjalankan fungsi dari PEMFC itu sendiri, yaitu *membrane electrolyte assembly* (MEA), gas diffusion

layer, gasket, pelat bipolar, kolektor arus, dan endplate. Adapun komponen tersebut disajikan dalam Gambar 1 di bawah ini.

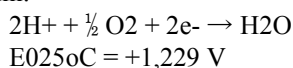


Gambar 1 Struktur PEM FC

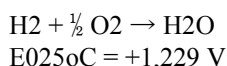
Pada PEMFC, gas kaya oksigen atau hidrogen yang dimampatkan berperan sebagai bahan bakar dan oksigen yang dimampatkan berfungsi sebagai oksidan. Dari anoda, hidrogen berdifusi melalui gas *diffusion layer* menuju lapisan katalisator dimana molekul hidrogen terpecah menjadi elektron dan proton mengikuti reaksi elektrokimia setengah sel berikut ini.



Proton akan berjalan melewati membran elektrolit menuju katoda dan elektron akan berjalan melalui sirkuit eksternal menuju katoda. Pada katoda, oksigen berdifusi melalui katoda gas *diffusion layer* menuju katoda katalis. Pada katalis, oksigen akan bereaksi dengan proton dan elektron membentuk air dan memproduksi panas sesuai dengan reaksi setengah sel berikut ini.



Sehingga reaksi keseluruhan dari PEMFC adalah sebagai berikut.



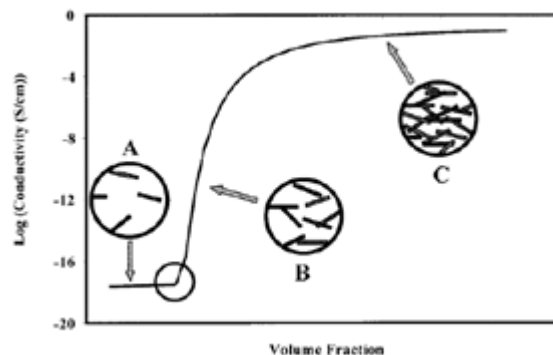
Polimer pada dasarnya bersifat insulator, dan nilai konduktivitasnya kira-kira 10⁻¹⁴ – 10⁻¹⁷ S/cm (Tabel 3).

Tabel 1 Nilai konduktivitas untuk jenis material yang berbeda.

Material	Konduktivitas listrik (S/cm)
Polimer	10 ⁻¹⁴ - 10 ⁻¹⁷
Karbon Konduktif	10 ² - 10 ⁵
Logam	10 ⁶

Konduktivitas material polimer dapat ditingkatkan dengan menambahkan karbon konduktif, seperti serat karbon, karbon hitam, dan grafit sintetis membentuk material komposit. Akan tetapi, konduktivitas komposit bergantung pada konsentrasi, orientasi, bentuk, ukuran, dan sifat-sifat dari pengisi konduktif yang dipakai. Dispersi partikel dan bentuk jaringan kontinyu dari bahan pengisi konduktif juga berpengaruh pada sifat konduktivitas. Di sisi lain, sering dihasilkan material komposit yang sifat-sifat mekaniknya

dari lebih buruk dari material-material penyusunnya. Gambar 2 berikut menggambarkan kecenderungan kurva konduktivitas komposit dengan tiga fraksi volume berbeda A, B, dan C. Pada muatan pengisi yang rendah (A), nilai konduktivitas komposit masih mendekati nilai konduktivitas matriks polimer. Akan tetapi, pada beberapa muatan yang kritis (C), konduktivitas meningkat teratur dengan peningkatan yang sangat sedikit.



Gambar 2. Ketergantungan nilai konduktivitas pada fraksi volume pengisi.

Resistensi materi dengan ketebalan T dan area permukaan A dapat dihitung dengan Eqn.

$$R_{material} = \rho z \text{ bulk } T/A$$

Dimana R_{material} merupakan listrik materi *through-plane resistance* (ohm cm²) dan ρz bulk yang merujuk kepada resistivitas listrik *through-plane* (ohm-cm)

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan

- Polipropilena HI10HO
- Karbon hitam 7H (N234)
- Grafit Elektroda EAF ukuran 118#

Pembuatan Masterbatch

Masterbatch dibuat dengan cara mencampurkan PP dan penguat karbon di dalam mesin rheomix HAAKE PoliDrive R600/610, tetapi sampel telah terlebih dahulu dicampurkan secara manual (*dry mixing*) di dalam beaker glass. Komposisi dari masing-masing masterbatch disesuaikan dengan formulasi yang telah dihitung terlebih dahulu (Tabel 3). Pada proses ini diharapkan tercipta sebuah campuran yang homogen.

Mesin ini terdiri dari 3 pelat, pelat pertama yang stasioner, dan pelat kedua serta ketiga yang dapat dilepas. Pada mesin ini, *chamber* pencampuran berada pada pelat kedua yang dibersihkan untuk mendapat hasil rheomix.

Adapun kondisi operasi yang digunakan adalah:

1. Temperatur : 180 °C
2. Deviasi : 0
3. Waktu Pencampuran : 5 menit

Tabel 3 Formulasi Masterbatch

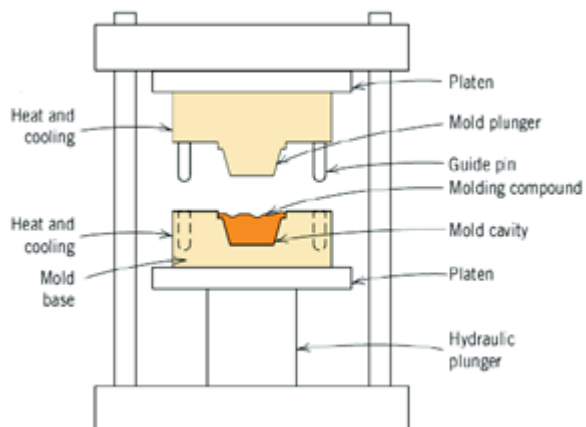
PP:Grafit:CB (wt%)	Massa PP (g)	Massa Grafit (g)	Massa CB (g)	Jumlah Campuran (g)
85 : 10: 5 (F1)	255	30	15	300
75 : 20: 5 (F2)	225	60	15	300
65 : 30: 5 (F3)	195	90	15	300
55 : 40: 5 (F4)	165	120	15	300
Jumlah (g)	840	300	60	

Preparasi Sampel Uji

Pada penelitian ini, preparasi sampel pengujian dilakukan dengan membuat slab menggunakan mesin hot press. Pada proses ini dihasilkan slab berbentuk persegi panjang dengan ketebalan 2 mm dan berbentuk sample uji tarik. Kondisi operasi proses adalah sebagai berikut:

1. Temperatur : 230 °C
2. Tekanan : 427 Psi

Pada penelitian ini, preparasi sampel pengujian dilakukan dengan membuat sampel uji menggunakan mesin hot press Collin Hot Press.



Gambar 3. Skema mesin compression moulding

Karakterisasi

Karakterisasi masterbatch terdiri dari pengujian tarik, flekstural, densitas, porositas, dan konduktivitas listrik. Setelah itu dilakukan mengamatan stuktur mikro dan juga SEM.

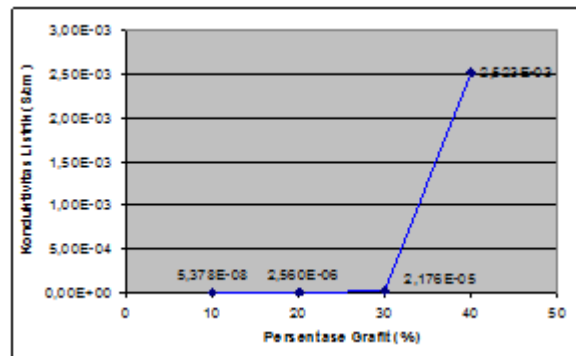
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Nilai Konduktivitas Listrik

Dari Gambar Grafik 4, terlihat bahwa formula empat memiliki nilai konduktivitas yang paling baik dibandingkan dengan formula lainnya. Hal ini disebabkan oleh kandungan grafit yang paling banyak dalam formula tersebut, sehingga mampu meningkatkan nilai konduktivitas rata-rata secara signifikan. Selain itu, komposisi carbon black sebagai semi-konduktor yang cukup besar dalam formula tersebut juga membantu peningkatan nilai konduktivitas pada formula tersebut. Performa konduktivitas yang cukup baik ini juga didukung oleh komposisi penguat karbon yang bersifat konduktif. Pada formula satu, dua, dan tiga nilai

konduktivitas yang sangat rendah disebabkan oleh komposisi matriks PP yang tinggi. Sifatnya sebagai isolator listrik menyebabkan matriks PP mampu menginsulasi penguat-penguat karbon sehingga aliran listrik tidak dapat mengalir dengan baik pada ketiga formula tersebut. Hal ini dapat dijelaskan dengan konsep “percolation treshhold”

Namun dalam penelitian ini tidak mendapatkan nilai konduktivitas optimal dari komposit PP/grafit/CB. Untuk mengetahui konduktivitas listrik yang lebih optimal perlu dilakukan penelitian mengenai penambahan grafit lebih dari 40 wt%. Hasil konduktivitas ini pun masih belum memenuhi target DOE untuk pelat bipolar yaitu sebesar 100 S/cm



Gambar 4. Grafik pengaruh penambahan grafit terhadap nilai konduktivitas listrik komposit PP/Grafit/CB

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Komposit polipropilena-karbon dengan kerapatan massa tertinggi adalah formula F4 sebesar 1,0204 g/cm³. Nilai kerapatan massanya lebih rendah apabila dibandingkan dengan kerapatan massa pelat bipolar grafit, sehingga pelat bipolar komposit diharapkan mampu menggantikan pelat bipolar grafit yang bobotnya lebih berat.
2. Komposit polipropilena-karbon dengan modulus tarik tertinggi adalah formula F4 sebesar 620 MPa, menunjukkan formula F4 paling getas apabila dibandingkan komposit lain.
3. Komposit polipropilena-karbon dengan modulus tekuk tertinggi adalah formula F4 sebesar 1650 Mpa. menunjukkan F5 paling kaku apabila dibandingkan komposit lain.
4. Komposit polipropilena-karbon dengan konduktivitas tertinggi adalah formula F4 sebesar 2,523E-03 S/cm.
5. Hasil pengamatan SEM pada permukaan patahan menunjukkan terdapat banyak rongga atau poros pada komposit PP/Grafit/CB yang menyebabkan rendahnya sifat mekanik dan listrik komposit tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zhang jie, Zou Yan-Wen, He jun. 2005. Influence of graphite particle size and its shape on performance of carbon composite bipolar plate. Beijing. Tsinghua Universit
- [2] Y, Wang. 2006. “Conductive Thermoplastic Composite Blends for Flow Field Plates for Use in Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells (PEMFC).” Thesis Master of Applied Science, Chemical Engineering University of Waterloo, Ontario Kanada.
- [3] Cunningham, Brent. 2007. The Development of Compression Moldable Polymer Composite Bipolar Plates for Fuel Cells Disertation Macromolecular Science and Engineering. Blacksburg, Virginia: Virginia Polytechnic Institute and State University
- [4] D. F. Caulfield et al. 2005. Wood Thermoplastic Composites Handbook of Wood Chemistry and Wood Composite, Chap. 13. Taylor and Francis.
- [5] Du, Ling. 2008. “Highly Conductive Epoxy/Graphite Polymer Composite Bipolar Plates In Proton Exchange Membrane (Pem) Fuel Cells” Dissertasion. The Graduate Faculty of the University.
- [6] EG&G Services Parsons, Inc. 2000. Fuel Cell Handbook fifth Edition. Morgantown, West Virginia: U.S. Department of Energy
- [7] F. Mighri dan M.A. Huneault, 2004. Electrically Conductive Thermoplastic Blends for Injection and Compression Molding of Bipolar Plates in the Fuel Cell Application”, Polymer Engineering and Science, , 44 (9), hlm. 1755 – 765.
- [8] Pramono, Agus. 2006. Pengaruh Kompaksi Dengan Variasi temperature sintering terhadap karakteristik graphite bipolar plate fuel cell komposit matrik polimer hasil metalurgi serbuk. Tesis tidak diterbitkan. Universitas Indonesia. Depok
- [9] Rusmiyatno, Fandhy. 2007. Pengaruh Fraksi Volume Serat Terhadap Kekuatan Tarik Dan Kekuatan Bending Komposit Nylon/Epoxy Resin Serat Pendek Random-Skripsi. Universitas Negeri Semarang.
- [10] Schwartz, M. M. 1984. Composite Material handbook. New York: McGraw-Hill International Editions.
- [11] T.M. Besmann, J. W. Klett, dan J.J Hendry. 2000. Metals And Ceramics Division Oak Ridge National Laboratory Carbon Composite Bipolar Plate For Pem Fuel Cell National Laboratory R&D Meeting Doe Fuel Cell For Transportation Program Northwest National Laboratory,
- [12] U. S. Fuel Cell Council. 2000. Fuel Cell Glossary 2nd Edition