

KARAKTERISASI GRAFIT MATRIKS POLISTIREN SEBAGAI MATERIAL UNTUK SEPARATOR *PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL*

Lies A. Wisojodharmo¹, Dewi Kusuma Arti¹ dan Eniya Listiani Dewi¹

¹Pusat Teknologi Material (PTM)-BPPT
Jl. MH. Thamrin No. 8, Lantai 22 - BPPT II, Jakarta 10340
e-mail : lieswisoso@hotmail.com

Diterima: 7 Juni 2012 Diperbaiki: 28 September 2012 Disetujui: 22 November 2012

ABSTRAK

KARAKTERISASI GRAFIT MATRIKS POLISTIREN SEBAGAI MATERIAL UNTUK SEPARATOR *PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL*. Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) adalah suatu alat yang menghasilkan listrik langsung melalui proses elektrokimia dengan mereaksikan gas hidrogen (H₂) dan oksigen (O₂). Komponen termahal dalam setiap unit *fuel cell* adalah separator atau *Bipolar Plates*, yaitu sebesar 42 %, sehingga sangat diperlukan usaha untuk menurunkan harga produksi *fuel cell* dengan menggantikan bahan tersebut dengan bahan baku lokal. Karakteristik utama dari separator *fuel cell* yang baik adalah tingginya konduktivitas dan rendahnya porositas. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan separator berbasis karbon dengan campuran polistiren dengan variabel rasio grafit (G), karbon (K) dan polistiren (PS), dan variasi tekanan. Selanjutnya dilakukan karakterisasi massa jenis, porositas, konduktivitas elektrik, kekerasan, kekuatan tarik dan morfologi. Massa jenis separator yang dihasilkan telah memenuhi persyaratan untuk separator komersial yaitu tidak lebih dari 5 g/cc. Konduktivitas elektrik mencapai 105,5705 S/cm pada kombinasi 90 %G/K dan 10 %PS. Polimer konduktif, polianilin (PANI), ditambahkan untuk meningkatkan konduktivitas elektrik. Karena penambahan ini, konduktivitas elektrik separator meningkat dari 105,5705 S/cm menjadi 121,9433 S/cm pada rasio 90 %G/K dan 10 %PS/PANI. Sedangkan pada separator komersial, kriteria konduktivitas elektrik yang baik adalah 100 S/cm.

Kata kunci: Separator, Polistirena, Polianilin, *Fuel cell*

ABSTRACT

THE PROPERTIES OF CARBON-BASED POLYSTYRENE COMPOSITES FOR BIPOLAR PLATES IN PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL. Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) is a device that produces electricity by the electrochemical reaction of hydrogen gas (H₂) and oxygen (O₂). The most expensive component in any unit of the fuel cell is a separator it is called *Bipolar Plates*, it takes 42 % of stack cost. So it takes effort to lower production cost by replacing the fuel cell materials with local raw materials. The main characteristics of the fuel cell separator that is both high conductivity and low porosity. In this research, the manufacture of carbon-based separator with a mixture of polystyrene with a variable ratio of graphite (G), carbon (C) and polystyrene (PS), as well as variations in pressure. Further characterization of the density, porosity, electrical conductivity, hardness, tensile strength, and morphology. The density of the resulting separator meets the requirements for commercial separator is not more than 5 g/cc. Electrical conductivity reaches 105.5705 S/cm on a combination of 90 %G/K and 10 %PS. Conductive polymer, polyaniline (PANI), was added to increase the electrical conductivity. Due to this addition, the electrical conductivity increased from 105.5705 separator S/cm to 121.9433 S/cm at a ratio of 90 %G/K and 10 %PS/PANI. While the commercial bipolar plates require 100 S/cm electrical conductivity.

Keywords: Separator, Polystyrene, Polyaniline, Fuel cell

PENDAHULUAN

Salah satu sumber energi menjanjikan yang dapat menjadi solusi untuk mengatasi krisis energi di masa depan adalah sel bahan bakar. Sel bahan bakar adalah sel elektrokimia yang dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik dari reaksi elektrokimia. Reaksi ini menghasilkan listrik, air dan panas dari reaksi bahan

bakar dan oksigen tanpa adanya pembakaran sehingga sangat mengurangi adanya polusi dan timbulnya ledakan. Keuntungan utama dari sel bahan bakar adalah berpotensi untuk bekerja pada efisiensi tinggi (50 % hingga 70%) dan tidak menimbulkan emisi rumah kaca. Kedua, sel bahan bakar dapat bekerja dengan baik dan tidak menimbulkan getaran saat beroperasi. Ketiga, sistem sel bahan bakar memiliki desain yang fleksibel. Terakhir, sel bahan bakar juga memiliki banyak pilihan umpan bahan bakar dari etanol yang dapat diperbarui sampai biomassa hidrogen [1].

Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) adalah salah satu penghasil energi ramah lingkungan yang sangat menjanjikan dan sedang dikembangkan. *PEMFC* menjadi sumber energi alternatif untuk *stationary, automobile* dan *portable power*. Keuntungan utama dari *PEMFC* meliputi: prototipe yang terakhir dibuat memiliki efisiensi >64%, densitas energinya tinggi (bila dibandingkan dengan baterai) dan dapat bekerja dengan bahan bakar yang ramah lingkungan sehingga tidak menghasilkan polusi. Sel bahan bakar biasanya bekerja pada suhu yang relatif rendah (30 °C hingga 150 °C), tetapi dapat memberikan energi yang lebih daripada tipe sel bahan bakar yang lain. *PEMFC* telah menarik banyak perhatian karena efisiensinya yang tinggi, beroperasi dengan baik, menggunakan bahan bakar dari sumber yang dapat diperbaharui dan prosesnya ramah lingkungan.

Di antara komponen *PEMFC*, *BiPolar Plate (BPP)* memiliki fungsi utama, seperti memberikan distribusi bahan bakar gas dalam sel, meningkatkan pengelolaan air selama seluruh sel dan menunjukkan konduktivitas listrik yang baik sebagai arus kolektor dan memberikan yang memadai kekuatan mekanik untuk melawan kekuatan penjepit sementara tumpukan itu dirakit [2]. *BPP* ini memakan waktu lebih dari 40% dari biaya *stack* [3]. Dalam arah ini banyak upaya yang sedang terjadi di seluruh dunia untuk membuat *BPP* ringan dan hemat biaya untuk aplikasi *PEMFC*. Dalam rangka untuk *stack-up* untuk membentuk *PEMFC* dan untuk menghasilkan arus yang berguna dan tegangan, sel tunggal dengan banyak *BPP* ditumpuk dan dihubungkan secara seri.

BPP terbuat dari material konduktif serta tidak tembus gas, untuk itu umumnya menggunakan material grafit dan logam (Aluminium, Baja, Titanium dan Nikel) melalui proses permesinan yang cukup rumit dan mahal. Dengan konstruksi dari material tersebut, *BPP* menghabiskan 80 % berat dan 60 % biaya total dari sebuah sel bahan bakar [4]. Hal ini tentu tidak diharapkan dalam komersialisasi *PEMFC* untuk aplikasi transportasi dan portable lainnya. *BPP* seharusnya sering mungkin dengan biaya yang relatif murah. Oleh sebab itu komposit matriks polimer dengan dispersi partikel konduktif dari *carbon fiber* dan *grafit* dapat dipandang sebagai pemecahan masalah. Dengan rasio permukaan terhadap volume yang sangat besar dibandingkan dengan material

ruahnya, partikel-partikel dari serat karbon dan *grafit* didalam matriks polimer diharapkan mampu memberikan kinerja yang lebih bagus sebagai hasil kombinasi sinergis konduktivitas listrik dan sifat mekanis yang tinggi, seiring dengan penurunan berat secara keseluruhan menjadi lebih ringan.

Pelat komposit berbasis grafit dibuat dari kombinasi grafit atau *filler* serbuk karbon dan resin polimer dengan metode konvensional dibuat dengan memanfaatkan peralatan *injection molding* atau *compression molding*. Keuntungan menggunakan sistem ini adalah biaya yang lebih murah, memiliki fleksibilitas yang tinggi dan lebih mudah untuk dilakukan fabrikasi serta lebih ringan jika dibandingkan dengan pelat logam dengan grafit. Saluran untuk aliran gas dapat dicetak secara langsung pada pelat, hal ini sudah bisa mengurangi biaya untuk *machining* jika menggunakan pelat logam. Material *thermoplastic* ataupun *thermoset* bisa digunakan untuk fabrikasi pelat.

METODE PERCOBAAN

Bahan yang digunakan adalah grafit dan *acetylene black* yang diperoleh dari PT International Chemical Industry (ABC Battery). Polimer termoplastik yang digunakan adalah Polistiren (PS) yang diproduksi oleh PT Styron dan *Methyl Ethyl Keton (MEK)* digunakan sebagai pelarut PS.

Amonium peroxydisulphate ditambahkan ke dalam 150 mL air *aquadest* kemudian diaduk selama 15 menit. 2,04 mL anilin ditambahkan ke dalam larutan tetes demi tetes dengan pengadukan konstan sampai larutan menjadi hijau gelap. Setelah itu, proses pengadukan dihentikan dan dilanjutkan dengan reaksi polimerisasi selama 24 jam. 500 mL *aquadest* ditambahkan ke dalam larutan untuk mencuci. Penyaringan dilakukan untuk mendapatkan polianilin. Polianilin basah dikeringkan dalam oven vakum sampai menjadi bubuk [5]. Material komposit termoplastik dibuat dengan melarutkan PS dalam *MEK* selama 30 menit, kemudian *grafit, acetylene black* dan polianilin ditambahkan dengan berbagai perbandingan sampai mendapatkan kondisi yang homogen. Selanjutnya campuran ini ditekan dalam mesin press hidrolik pada 75 kgf/cm² dan

Tabel 1. Komposisi dan Pengkodean Sampel.

	Nama	% berat grafit dan AB (G:AB=5:1)	% berat polimer sebagai filler
Polistirena	1a	90	10
	1b	85	15
	1c	80	20
	1d	75	25
Polistirena dan Polianilin	2a	90	10
	2b	85	15
	2c	80	20
	2d	75	25

150 kgf/cm² dengan suhu 200 °C menggunakan cetakan berdiameter 14 cm. Sebagai perbandingan, polianilin digunakan sebagai polimer konduktif dengan komposisi antara polianilin sebanyak 5% dari total massa polimer yang digunakan. Variasi dalam komposisi (wt%) antara filler (G : AB = 5 : 1) dan binder beserta pengkodeannya dituliskan dalam Tabel 1.

Porositas masing-masing sampel ditentukan menurut prosedur uji ASTM C20 [6]. Spesimen ditimbang di udara dan nilai tersebut dicatat sebagai berat kering (D). Kemudian benar-benar tenggelam dalam air pada suhu 100 °C selama 2 jam dan didinginkan dalam air selama 12 jam. Spesimen ditimbang dalam air dan merekam sebagai berat ditanggungkan (S). Spesimen kemudian dikeringkan dan ditimbang sebagai berat jenuh (W). Porositas (P) kemudian dihitung sesuai Persamaan (1):

$$P(\%) = \frac{(W - D)}{(W - S)} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

Kepadatan setiap sampel ditentukan menurut prosedur uji ASTM D792 [7]. Spesimen ditimbang di udara dan nilai tersebut dicatat sebagai A. Kemudian benar-benar tenggelam dalam air pada suhu 28 ° ± C. Spesimen ditimbang dan dicatat sebagai B. Kepadatan sampel dihitung sesuai Persamaan (2):

$$\rho = \frac{A}{(A - B)} \times \rho_f \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

Perlawanan massal dan konduktivitas listrik dari komposit grafit telah diteliti dengan menggunakan metode *four point probe*. Dan digunakan *four point probe* K 705 RS.

Resistivitas *bulk* (ρ), curah resistensi (R), dan konduktivitas (σ) dihitung dengan menggunakan Persamaan (3) hingga Persamaan (5).

$$\rho = 2\pi s \frac{V}{I} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad \dots\dots\dots (5)$$

Dimana:

- s = Jarak antara dua *probe*
- V = Tegangan
- I = Arus listrik
- l = Panjang
- A = Luas permukaan spesimen.

Vickers metode kekerasan ditentukan oleh instrumen *Wolpert Testor DIA 2RC*. Kekuatan tarik ditentukan oleh Instrontester *Strograph-RI Toyoseiki*

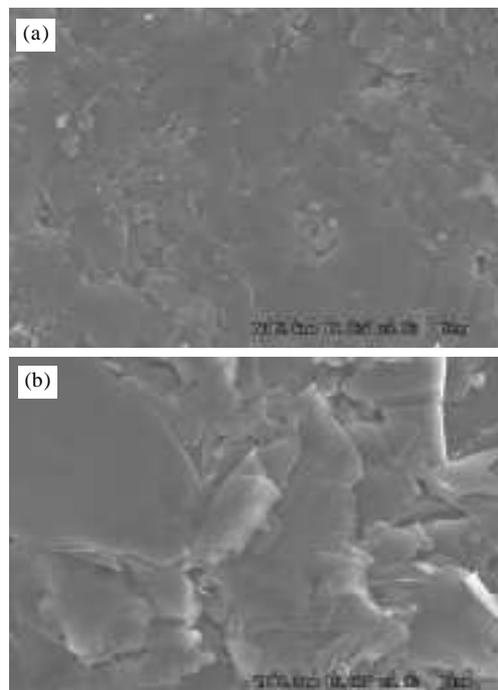
Seri. Struktur dan morfologi diuji dengan *Scanning Electron Microscope (SEM)*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Seperti diperlihatkan pada Gambar 1, Nilai kerapatan komposit semakin meningkat dengan adanya penambahan polianilin. Hal ini karena polianilin memiliki nilai densitas yang lebih tinggi dibanding bahan yang lain yaitu sebesar 1,329 g/cm³, sementara bahan yang lain hanya sekitar 0,8 g/cm³ hingga 0,9 g/cm³[8].

Porositas adalah adanya ruang kosong (*void*) yang terdapat di dalam sampel komposit. Semakin kecil nilai porositas menunjukkan semakin sedikit juga rongga-rongga mikro (*micro void*) di dalam komposit tersebut. Rongga-rongga kecil ini terbentuk karena adanya gas-gas yang terperangkap di dalam komposit [9]. Gas-gas yang terperangkap ini dapat terjadi saat proses *hot press* pelet komposit. Porositas akan menurun saat tekanan pada proses *hot press* dinaikkan dari 75 kg/cm² menjadi 150 kg/cm².

Penambahan Polianilin akan meningkatkan nilai konduktivitas listrik. Hal ini ditunjukkan dengan adanya peningkatan nilai konduktivitas seperti ditunjukkan pada Gambar 2 dari 105,571 S/cm menjadi 121,943 S/cm. Dimana kedua nilai ini telah memenuhi kriteria pelat bipolar yaitu 100 S/cm. Penyebab meningkatnya nilai konduktivitas yaitu polianilin memiliki nilai konduktivitas yang tinggi sehingga ketika ditambahkan di dalam komposit, maka nilai konduktivitasnya naik.



Gambar 1. Strukturmikro dari komposisi hasil analisis SEM terlihat porositas pada komposit (a). *Surface section* dan (b). *Cross section*.

Tabel 2. Karakterisasi Komposit Grafit dan Polimer

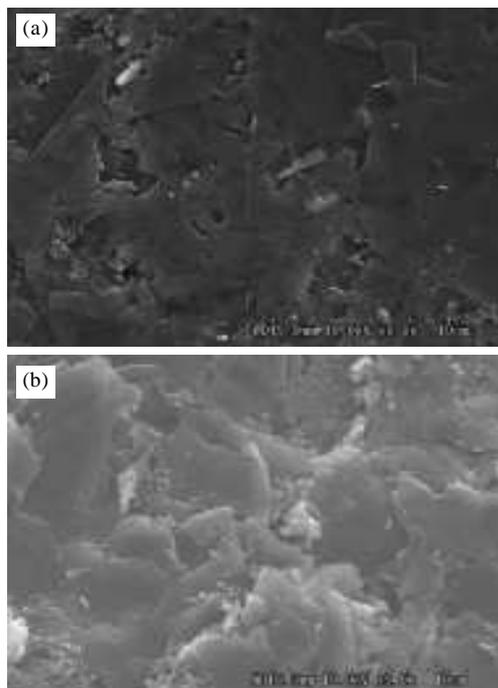
Sampel	Tekanan Hotpress	Densitas (g/cm ³)	Porositas (%)	Konduktivitas (S/cm)	Tensile strength (kg/cm ²)	Hardness (kg/mm ²)
1a	75	1.395	5.155	81.362	29.488	4.323
	150	1.472	5.769	105.571	57.147	4.015
1b	75	1.461	6.024	39.434	69.297	5.709
	150	1.547	6.742	86.613	58.339	6.367
1c	75	1.518	6.172	23.331	39.472	5.893
	150	1.479	7.527	23.028	32.629	4.716
1d	75	1.520	3.896	22.122	46.831	4.702
	150	1.535	2.174	57.265	42.580	6.609
2a	75	1.265	5.556	65.495	28.249	4.009
	150	1.257	6.977	121.943	25.150	10.264
2b	75	1.417	3.252	61.298	55.391	4.823
	150	1.396	5.882	115.640	27.361	6.129
2c	75	1.403	5.882	61.830	48.907	4.256
	150	1.363	2.013	61.830	66.437	6.477
2d	75	1.403	4.839	81.845	30.518	6.477
	150	1.435	6.977	81.845	38.306	6.242

Jika dilihat dari penambahan polimer, semakin banyak polimer maka konduktivitas akan menurun. Hal ini disebabkan karbon terselimuti oleh polimer polistiren. Polimer ini memiliki konduktivitas yang sangat rendah dan berfungsi sebagai isolator, sehingga menghambat karbon melakukan fungsinya yaitu menghantarkan arus listrik dengan baik [10]. Terselutinya karbon oleh polimer mengakibatkan gerakan elektron terhambat dan arus yang mengalir di antara material akan terhalang.

Kekuatan tarik dan kekerasan cenderung mengalami peningkatan dengan penambahan polianilin. Kecenderungan ini disebabkan oleh penurunan porositas dan peningkatan densitas yang disebabkan oleh penambahan polianilin. Rongga-rongga mikro yang menyebabkan rendahnya sifat mekanik dari komposit. Rongga-rongga mikro tersebut akan menjadi titik konsentrasi tegangan (*stress concentration*) dan bergabung membentuk retak yang akhirnya menyebabkan patahan [11]. Semakin tinggi porositas suatu komposit, maka energi yang diperlukan untuk mematahkan akan semakin kecil sehingga menyebabkan nilai kekuatannya menjadi turun.

KESIMPULAN

Bipolar plate yang dihasilkan dengan binder polimer termoplastik menghasilkan porositas rendah. Dari segi densitas, didapatkan densitas tertinggi sebesar 1,547 g/cm³ dimana sudah memenuhi kriteria *bipolar plate* yang baik yaitu memiliki densitas di bawah 5 g/cm². Konduktivitas tertinggi untuk binder dengan polimer termoplastik dicapai dengan penggunaan Polistiren dan Polianilin (perbandingan grafit : polimer = 90 : 10) yang dihotpress pada suhu 200 °C dan tekanan 150 kg/cm² yaitu sebesar 121 S/cm. Semakin tinggi tekanan yang digunakan pada proses *hotpress*, karakterisasi *bipolar plate* akan semakin baik karena semakin kecil kemungkinan adanya pori serta sifat mekaniknya meningkat. Berdasarkan analisis morfologi yang dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope (SEM)*, tampak bahwa semakin grafit dan polimer sudah homogen, dimana grafit sebagai *filler* dan polimer sebagai perekat.



Gambar 2. Strukturmikro dari komposisi kasil analisis SEM terlihat porositas pada komposit (a). *Surface section* dan (b). *Cross section*.

DAFTAR ACUAN

- [1] HEINZEL A., MAHLENDORF F., JANSEN C., *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources*, (2009) 810-816
- [2] DHAKATE S.R., MATHUR R.B., KAKATI B.K., DHAMI T.L., *Int. J. Hydrogen Energy*, **32** (2007) 4537-4543
- [3] E. L. DEWI, L. A. WISOJODHARMO, A. H. W. SANTOSA, *Proceedings of Sriwijaya International Seminar on Energy Science and Technology*, Palembang, Indonesia, Nov. (2008) 43-48
- [4] E. L. DEWI, L. A. WISOJODHARMO, A. H. W. SANTOSA, *Proc. Int. Symp. Energy Sustainable Technology*, (2008) 76-80
- [5] R. DWEIRI, J. SAHARI, *Journal of Power Sources*, **171** (2007) 424-432
- [6] CUNNINGHAM B.D., HUANG J., BAIRD D.G., *J. Power Sources*, **165** (2007) 764-773
- [7] CUNNINGHAM B.D., BAIRD D.G., *J. Power Sources*, **168** (2007) 418-425
- [8] D. P. WILKINSON, J. ST-PIERRE, In: W. VIELSTICH, A. LAMM, H.A. GASTEIGER (Eds), *Handbook of Fuel Cell, Fundamentals, Technology and Applications*, **3** (3) (2003) 626
- [9] A. ZULFIA, W.D. VERINA, S. YOGHI, Potensi Pengembangan Energi Terbarukan dan Material Pendukung Konstruksi Energi Terbarukan, Surakarta, *Prosiding Seminar Nasional Kluster Riset Teknik Mesin 2009*, (2009) 144
- [10] M. CLIVER, C. TERESA, *Polypropylene: The Devinitive User's Guide and Databook, Plastic Design Library*, **198** (Tahun?) 126
- [11] D. TRIPATHI, *Practical Guide to Polypropylene*, Rapra Technology Ltd., Shrewsbury, UK, (2002) 176