

PEMBUATAN FUEL CELL STACK BERBASIS MEMBRAN FISION

Sri Pujiastuti, Elsy Rahimi dan Sunit Hendrana

Pusat Penelitian Fisika (P2F) - LIPI

Jl. Cisititu 21/154D Kompleks LIPI, Bandung 40132

ABSTRAK

PEMBUATAN FUEL CELL STACK BERBASIS MEMBRAN FISION. Telah dilakukan pembuatan *fuel cell stack* tunggal dengan membran *Fision*. Penelitian ini menggunakan bahan-bahan yang tersedia di dalam negeri. Dari penelitian ini tidak hanya mampu dibuat *fuel cell stack*, namun juga ditampilkan sisi *engineering* dalam pembuatan *fuel cell stack* tersebut. Tahapan-tahapan yang penting dari pembuatan *fuel cell stack* ini adalah pada sisi pembuatan *Membrane Electrode Assembly (MEA)*, konstruksi *stack* dan desain alur bahan bakarnya, yaitu gas hidrogen. Kedua hal penting pertama akan dikemukakan secara teknis selanjutnya pada aspek ketiga, yaitu mengenai alur bahan bakar, hanya dikemukakan secara konseptual. Pada pembuatan *MEA*, yaitu penggabungan antara membran dan *Gas Diffussion Electrode (GDE)* harus diperhatikan faktor kompresi. Di satu sisi kompresi yang terlalu tinggi menyebabkan rusaknya *GDE*, namun tekanan yang rendah akan menghasilkan *gap* antara membran dan *GDE* yang dapat mengganggu aliran elektron dalam sistem yang pada akhirnya mengurangi kinerja *stack*. Pada saat konstruksi *stack*, distribusi kompresi dan kebocoran juga harus dijaga, karena kedua hal tersebut dapat mengurangi kinerja *fuel cell stack* dengan drastis.

Kata kunci : Fuel Cell Stack, Membran Fision, MEA, Konstruksi stack

ABSTRACT

PREPARATION OF FUEL CELL STACK BASED ON FISION MEMBRANE. Preparation of single fuel cell stack using fision membrane of local materials has been done. In this research, beside preparation of fuel cell stack, the engineering side in the preparation of fuel cell stack also explored. The crucial steps of this research were on preparation of Membrane Electrode Assembly (MEA), stack construction, and flow field design used to distribute the fuel of hydrogen gas. The first two cases will be explained technically, but the third case, flow field design, will just be explained conceptually. In the preparation of MEA, in which fision membrane and Gas Diffusion Electrode (GDE) were assembled, the compression factor must be noticed. Too high compression could caused crack in the GDE. However, low compression will result in a gap between membrane and GDE which could interfere the electron flow in the system and reduce the stack performance. At the stack construction, distribution of compression and leakage have also to be aware. These two factors could reduced the fuel cell stack performance drastically.

Key words : Fuel Cell Stack, Fision membrane, MEA, Stack construction

PENDAHULUAN

Terdapat banyak sumber energi, diantaranya adalah minyak bumi serta energi terbarukan lainnya seperti energi surya, energi angin dan energi hidrogen atau *fuel cell*. Energi hidrogen mempunyai keunggulan yang sangat spesifik dibandingkan dengan sumber energi lainnya yaitu kemampuannya untuk dimanfaatkan pada berbagai aplikasi, baik yang membutuhkan kapasitas besar seperti sumber tenaga listrik maupun dengan sumber tenaga yang kecil seperti untuk aplikasi pada catu daya komputer bahkan *mobile phone*.

Untuk mendukung pembangunan berkelanjutan maka energi tak terbarukan harus

dimanfaatkan secara lebih hemat, sedang energi terbarukan dimanfaatkan optimal sesuai kapasitas. Pengembangan energi hidrogen atau *fuel cell* merupakan salah satu pilihan yang tepat untuk menjawab tantangan kebutuhan energi ini.

Komponen sistem *fuel cell* ini sebagian telah dapat dibuat dengan kemampuan teknologi yang telah dikuasai di Indonesia. Namun demikian, jantung dari *fuel cell* masih sangat tergantung pada *Nafion* [1-2] yang merupakan bahan impor. Bahan membran ini sangat mahal dan merupakan sekitar 45 % dari total nilai sumber energi hidrogen [3], sehingga membran mempunyai nilai yang

sangat strategis. Banyak sekali usaha-usaha yang dikembangkan untuk mengganti *Nafion* di seluruh dunia [4-8] termasuk di Pusat Penelitian Fisika (P2F) - LIPI.

P2F - LIPI telah mengembangkan membran untuk digunakan pada *fuel cell stack* yang berbasis bahan polimer yang diproduksi di Indonesia, yaitu polistiren dan kopolimernya. Membran ini diberi nama membran *Fision*. Membran *Fision* ini mempunyai konduktivitas ionik setara dengan *Nafion*[®] yang ada di pasaran.

Membran dan Konduktivitas

Membran merupakan elektrolit yang sangat berperan pada kinerja *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC)* yang mempunyai tugas utama sebagai pemisah gas di anoda dan katoda serta memfasilitasi hantaran ion dari elektroda satu ke elektroda lainnya [9]. Untuk menjalankan tugas ini, membran memiliki tugas yang bertentangan yaitu di satu sisi harus menyeleksi antara proton dan elektron sedangkan di sisi lainnya harus menghantarkan ion dengan cepat. Hal terakhir ini dimaksudkan untuk mempercepat terjadinya reaksi elektrokimia pada sisi elektroda lainnya (katoda).

Salah satu faktor keberhasilan tugas membran ini adalah *packing* antar komponen membran [10]. Membran *Fision*, secara uji statis telah mampu menjalankan tugas ini [11] melalui konsep supramolekular yang diterapkan.

Fuel Cell Stack

Fuel cell stack terdiri dari membran, elektroda yang berfungsi sebagai katalis reaksi elektrokimia, *Gas Diffusion Layer (GDL)* yang merupakan *support* dari elektroda dan harus mampu menghantarkan elektron yang dihasilkan di anoda untuk dialirkan pada *bipolar plate* sebelum akhirnya dialirkan pada *current collector*.

Bipolar plates merupakan bagian dimana terjadi aliran bahan bakar baik hidrogen maupun oksigen dan merupakan penghantar elektron dari *GDL*. Desain aliran bahan bakar akan sangat menentukan kinerja dari *PEMFC* terutama pada *power density*.

Pada penelitian ini dilakukan studi literatur pemilihan alur bahan bakar *fuel cell* untuk memberikan hasil yang optimal. Selanjutnya dilakukan kegiatan perancangan dan pembuatan *fuel cell stack* berbasis membran *Fision*.

METODE PERCOBAAN

Bahan

Bahan yang diperlukan adalah *sPS (sulfonated Polystyrene)*, *PE-g-MAH (Polyethylene-glycol-Maleic Anhydride)*, benzimidazol, metanol, toluen, *GDE* (gabungan dari *GDL* dan elektroda) yang diperoleh dari pasaran, membran *Fision*, larutan *Nafion*, grafit (sebagai *bipolar plate*) buatan P2F-LIPI, tembaga (sebagai *current collector*) dan lem silikon (sebagai *seal*).

Alat

Alat yang diperlukan adalah reaktor sulfonasi, kaca, *hot press*, *hot rolling press*, alat-alat gelas dan *tool kit*.

Cara Kerja

Pembuatan *Membrane Electrode Assembly (MEA)*

Pembuatan Membran *Fision*

Bahan *sPS* dan *PE-g-MAH* dilarutkan secara terpisah sebelum dicampurkan dan kemudian dimasukkan ke dalam cetakan. Pelarut yang digunakan dipilih untuk memfasilitasi terjadinya supramolekul di dalam membran. Pelarut pada membran diuapkan pada suhu 40 °C, selanjutnya lembaran membran di *hot press*.

Untuk mengetahui kinerja dari teknik pembuatan membran di atas, maka dilakukan uji kedapatulangan (*repeatability*) dengan mengulang tiga kali pembuatan membran oleh tiga orang yang berbeda.

Pembuatan *MEA*

Pembuatan *MEA* dilakukan dengan pelapisan kedua sisi membran dengan larutan elektrolit, dalam hal ini larutan *Nafion*, penempelan *GDE* pada kedua sisi membran, dan pengepresan gabungan di atas dengan *hot-press* dengan cara *hot-rolling* (Gambar 1). Pengepresan dilakukan pada suhu bertingkat yaitu dari suhu 60 °C sampai dengan suhu 120 °C dengan gradasi 10 °C.

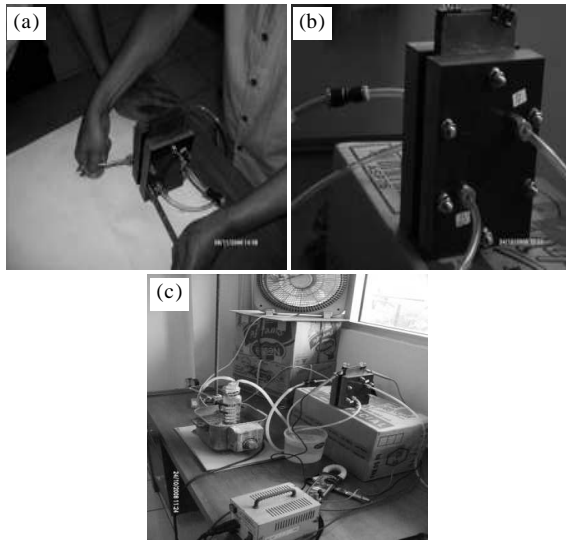
Pembuatan *Fuel Cell Stack*

Pembuatan Alur Bahan Bakar Gas

Alur bahan bakar gas ditetapkan menggunakan tipe *serpentine*, dengan jalur masuk dan keluar gas untuk lima aliran dan alirannya berputar membentuk huruf U, untuk mengoptimalkan aliran gas serta menjamin distribusi yang merata. Kondisi alur bahan bakar tersebut adalah sebagai berikut : dimensi lebar = 0,95 mm, kedalaman = 0,5 mm dan jarak antar aliran = 0,95 mm.



Gambar 1. Hot-rolling untuk pembuatan *MEA*



Gambar 2. Proses pembuatan *stack* PEMFC Fision sampai dengan rangkaian pengujian : a). Merangkai *stack*, b). *Stack* yang sudah jadi dan, c). Rangkaian pengujian

Pembuatan Stack

Stack merupakan gabungan antara *MEA*, *bipolar plate* dan *current collector*. Untuk menghindari kebocoran gas, digunakan *seal* dari lem silikon. Lem konduktif digunakan sebagai perekat antara *current collector* dan *bipolar plate*.

Pengepresan komponen dilakukan dengan kompresi yang merata untuk menghindari kebocoran gas pada alur bahan bakar.

Pembuatan *fuel cell stack* dilakukan dengan cara mencontoh dari produk yang terdapat di pasaran. Langkah-langkah pembuatan *stack* (Gambar 2) sebagai berikut : merangkai *stack* dengan cara mengintegrasikan *MEA*, *bipolar plate*, *current collector* dan selang-selang yang berfungsi untuk mengalirkan gas masuk ke dalam *stack* dan keluar dari *stack*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kedapatulngan Produksi Membran

Uji kedapatulngan merupakan uji yang penting karena membran merupakan material yang sering kali menghadapi kendala kesamaan kinerja pada pembuatannya (tidak *repeatable*), sehingga dilakukan uji ini. Dari 3 orang yang melakukan, terdapat hasil yang sangat baik yaitu bahwa konduktivitas ioniknya setara dengan *Nafion*, distribusi *SPS* yang merata pada seluruh sisi membran yang dibuat dan mempunyai karakteristik *ion-exchange (IEC)* yang lebih baik dari *Nafion*. Hasil pengukuran *IEC* dapat dilihat pada Tabel 1.

Untuk pembuatan *fuel cell stack* dengan dimensi aktif (5 x 5) cm² dibutuhkan membran dengan ukuran (7,5 x 7,5) cm².

Tabel 1. Nilai *IEC* untuk *Nafion* dan *Fision*

No	Kode sampel	IEC/meq g ⁻¹
1	Nafion	0.12
2	Fision	0.24 - 0.35

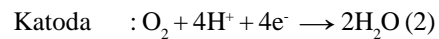
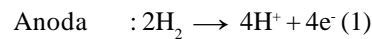
Keberhasilan Pembuatan *Fuel Cell Stack*

Alur Bahan Bakar

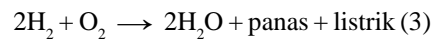
Setelah dipelajari dari berbagai sumber, maka ditentukan alur gas bahan bakar hidrogen dan oksigen adalah model *serpentine* (Gambar 3). Alur gas model *serpentin* dipilih karena penurunan tekanan pada salurannya paling kecil dibandingkan dengan jenis yang lain [12].

Di dalam aplikasinya lima alur gas bahan bakar dijadikan satu *inlet*. Hal ini dimaksudkan untuk menjaga distribusi gas bahan bakar agar merata, menjaga tekanan pada gas bahan-bakar, karena gas akan terdistribusi merata, serta mengakomodasi dengan cepat apabila ada perubahan tekanan.

Reaksi pada *fuel cell* sebagai berikut :



Reaksi keseluruhan :



Reaksi pada anoda adalah pembentukan ion H⁺ dan e⁻. Reaksi ini adalah reaksi katalisis dengan Pt sebagai katalisatornya. Dengan demikian, efisiensi reaksi sangat dipengaruhi oleh kontak antara gas H₂ dengan katalisatornya. Salah satu faktor penentunya adalah tekanan [12]. Distribusi tekanan dipengaruhi oleh desain alur gas bahan bakar.

Seal dan Kebocoran Gas Bahan Bakar

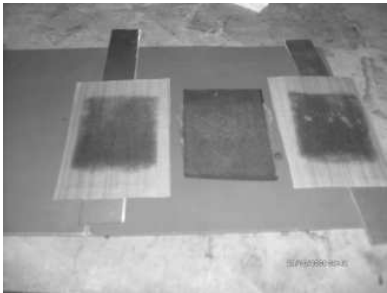
Seal dan kebocoran gas dapat berdiri sendiri atau dapat merupakan kesatuan. Kebocoran dapat terjadi pada alur gas bahan bakar yang akan mengakibatkan luasan membran yang mendapat suplai gas bahan bakar menjadi berkurang dan berakibat pada penurunan *power density*, karena arusnya menjadi sangat berkurang.



Gambar 3. *Bipolar plate* dengan alur gas bahan bakar jenis *serpentin* (kanan bawah) dan komponen *fuel cell stack* lainnya



Gambar 4. Contoh terblokirnya gas bahan bakar karena air (kanan atas yang berwarna hitam lebih pekat)



Gambar 5. Kegagalan pembuatan MEA karena overpressed

Mampatnya aliran gas bahan bakar dapat terjadi karena *oversupply* dari uap air sehingga aliran gas bahan bakar terblokir (terjadi pada anoda) serta terjadi produk air (H_2O) yang tidak mengalir (terjadi pada katoda).

Kedua hal tersebut dapat mengakibatkan penurunan tekanan (*pressure drop*) sehingga mempengaruhi efektifitas kinerja sel [12].

Contoh dari terganggunya aliran gas bahan bakar karena terdapatnya air di dalam alur ditampilkan pada Gambar 4.

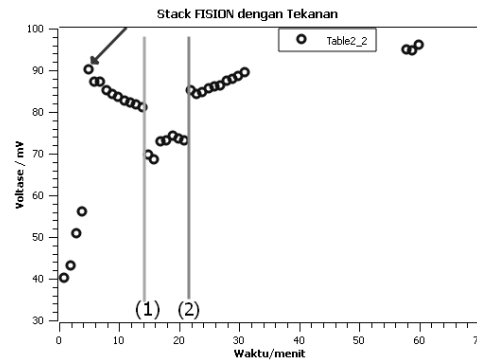
Kontak Antar Komponen

Pada *fuel cell*, listrik dapat terjadi karena hantaran ion dan elektron. Keduanya dalam ukuran Angstrom. Oleh karena itu toleransi adanya *gap* antar komponen sangat kecil. Salah satu faktor penentu adalah tekanan pada saat pembuatan *MEA*. Tekanan yang digunakan harus tepat. Unsur tekanan dalam preparasi dapat membantu, namun pada tekanan yang sangat tinggi dapat menimbulkan efek yang sebaliknya.

Hasil pembuatan *MEA* yang kurang berhasil ditampilkan pada Gambar 5. Pada kedua sisi kanan-kiri tampak adanya cetakan warna hitam. Cetakan hitam ini berasal dari *GDE* yang akan ditempelkan. Pada pengujian dengan *MEA* ternyata tidak dihasilkan listrik sama sekali. Hal tersebut terjadi karena tekanan yang berlebih pada saat pembuatan *MEA*.

Kinerja Fuel Cell Stack Fision

Hasil pengujian *fuel cell stack Fision* ditampilkan pada Gambar 6. Dari gambar tersebut tampak adanya fluktuasi. Pada poin yang ditunjukkan oleh panah



Gambar 6. Kinerja Fuel Cell Stack Fision

terdapat puncak kinerja yang disebabkan perubahan tekanan saat *adjustment*. Hal ini menunjukkan bahwa tekanan dapat mempengaruhi sebaran gas H_2 pada *MEA* di anoda yang menjadikan kontak dengan katalis Pt dapat lebih efektif. Hal ini menghasilkan ion H^+ dan e^- yang lebih banyak, sehingga akan menghasilkan listrik yang lebih besar pula. Pada saat penambahan tekanan gas hidrogen (Gambar 6) kinerja turun, tetapi dapat dipulihkan kembali pada pengurangan tekanan oksigen.

Fenomena ini masih belum dapat dijelaskan secara jelas, namun dapat diperkirakan bahwa hal tersebut terjadi karena adanya penurunan tekanan (*pressure drop*) pada saat penambahan tekanan gas. Hal ini dapat terjadi pada alur jenis *serpentine* [12]. Pengurangan tekanan pada katoda kemungkinan dapat mengimbangi *pressure drop* ini sehingga kinerja dapat kembali meningkat.

Percobaan ini telah dilakukan dalam waktu yang panjang. Membran *Fision* untuk *fuel cell* yang dipakai dalam penelitian ini dapat digunakan 2,5 jam terus menerus tanpa mengurangi kinerja dari membran.

KESIMPULAN

Membran *Fision* telah dapat digunakan untuk aplikasi pada *PEMFC*. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kinerja adalah kontak antar komponen, alur aliran gas bahan bakar, dan tekanan gas bahan bakar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan banyak terima kasih kepada program kompetitif LIPI yang membiayai penelitian ini, Bapak Kepala Pusat Penelitian Fisika-LIPI yang memfasilitasi dan membantu kelancaran penelitian ini, Bapak Deputi IPT yang memberikan pengarahannya, serta tim yang bekerja dengan keras untuk selesainya program ini, yaitu tim dari PPF-LIPI dan P2 Telimek LIPI.

DAFTAR ACUAN

- [1]. ENERGY NEXUS GROUP, *Technology Characterization : Fuel Cells*, April (2002)
- [2]. M. RIKUKAWA and K. SANUI, *Prog. Polym. Sci.*, **25** (2000) 1463-1502

- [3]. M. NOPONEN, T. MENNOLA, M. MIKKOLA, T. HOTTINEN, and P. LUND, *J. Power Sources*, **106** (2002) 304-312
- [4]. T. YAMAKI, M. ASANO, Y. MAEKAWA, Y. MORITA, T. SUWA, J. CHEN, N. TSUBOKAWA, K. KOBAYASHI, H. KUBOTA, and M. YOSHIDA, *Radiation Physics and Chemistry*, **67**(2003) 407
- [5]. B. BUPTA, F.N. BUCHI, and G. G. SCHERER, *J. Polym. Sci. Part A: Polym. Chem.*, **32** (1994) 1931-1938
- [6]. F. N. BUCHI, B. GUPTA, O. HAAS, and G. G. SCHERER, *Electrochim. Acta*, **40** (1995) 345-353
- [7]. H. P. BRACK, L. BONORAND, H. G. BUHRER, and G. G. SCHERER, *ACS Polym. Preprints.*, **39** (1998) 976-977
- [8]. S. HOLMBERG, T. LEHTINEN, J. NASMAN, D. OSTROVSKII, M. PARONEN, R. SERIMAA, F. SUNDHOLM, G. SUNDHOLM, L. TORELL, and M. TORKKELLI, *J. Mater. Chem.*, **6** (1996) 1309-1317
- [9]. K. D. KREUER, S. J. PADDISON, and M. SCHLUSTER, *Chem. Rev.*, **104**, (2004) 4637-4678
- [10]. P. TOTSATITPAISAN, K. TASHIRO, and S. CHIRACHANCHAI, *J. Phys. Chem. A.*, **112** (2008) 10348-10358
- [11]. S. HENDRANA, *Laporan Akhir Progam Kompetitif 2007*, LIPI (2007)
- [12]. S. A. CHO, P. H. LEE, S. S. HAN and S. S. HWANG, *J. Mech. Sci. Tech.*, **22** (2008) 583-589