

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Fuel Cell

Fuel *cell* merupakan suatu alat elektrokimia yang secara langsung mengkonversi energi kimia yang terdapat dalam *fuel cell* menjadi energi listrik (4). Alat ini menggunakan suatu kombinasi antara bahan bakar yang dapat berupa hidrogen, propana, butana, metanol, ataupun bahan bakar *diesel* dengan oksigen. Bahan bakar dan oksigen tersebut direaksikan melalui elektroda-elektroda dan melewati elektrolit konduktif ion (*ion conducting electrolyte*). Hasil reaksi antara bahan bakar dan oksigen menghasilkan air yang sangat aman bagi lingkungan.

Penggunaan hidrogen yang terdapat pada *fuel cell* dapat didesain menjadi suatu sistem *portable* yang dapat dipindah-pindahkan serta mempunyai massa ringan. Berbeda dengan sistem pembakaran yang terdapat pada alat transportasi konversi (penggunaan piston pada mobil/motor), rangkaian *fuel cell* tersebut mempunyai bagian yang bergerak ataupun bergetar sehingga tidak menimbulkan polusi. Dibandingkan dengan sumber energi alternatif lainnya, *fuel cell* mempunyai beberapa kelebihan, diantar lain adalah:

- Tidak mengeluarkan emisi suara (tidak berisik)
- Efisiensi energi yang cukup tinggi
- Bebas emisi polutan sehingga tidak mencemari lingkungan
- Dapat digunakan dalam berbagai jenis aplikasi penggunaan

Tingginya efisiensi kerja yang sangat baik pada *fuel cell* dikarenakan 50-70% bahan bakar yang digunakan akan dikonversi menjadi energi listrik, bahkan hingga mencapai 90% jika dilakukan *hot recovery*.

2.2. Jenis-Jenis Fuel Cell

Secara umum, fuel cell dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis. Pengklasifikasian jenis-jenis fuel cell tersebut berdasarkan elektrolit yang digunakan, temperatur operasi. Klasifikasi dari fuel cell tersebut terangkum dalam Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1. Jenis-jenis Fuel Cell

Jenis	Elektrolit	Katalis	Temperatur Operasi	Karakteristik
Alkaline Fuel Cell (AFC)	KOH	Platinum	60-120	Efisiensi energi tinggi
Phosphoric Acid Fuel Cell (PAFC)	Phosphoric Acid (H ⁺)	Platinum	160-200	Efisiensi energi terbatas, peka terhadap CO ₂ (<1,5% Vol)
Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC)	Molten Carbonate (CO ₃ ²⁻)	Electrode Material	500-600	Rentan korosi temperatur tinggi
Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)	Lapisan Keramik (CO ⁻)	Elektrode Material	800-1000	Efisiensi sistem tinggi, temperatur operasi perlu direduksi
Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC)	Polymer Electrolyte (H ⁺)	Platinum	60-100	Kerapatan energi tinggi, memiliki kepekaan terhadap CO (<100ppm)
Direct Methanol Fuel Cell	Electrolyte Polymer	Platinum	60-120	Efisiensi sistem tinggi, peka

Cell (DMFC)	(H ⁺)	terhadap hasil oksidasi di anoda
-------------	-------------------	----------------------------------

Keenam jenis *Fuel Cell* diatas beroperasi pada rentan temperatur yang berbeda.

2.3. Membran Polimer Elektrolit

Membran polimer elektrolit (PEM) merupakan komponen utama dalam *fuel cell* yang berfungsi untuk memisahkan reaktan dan juga berfungsi sebagai sarana transportasi ion hidrogen yang dihasilkan oleh reaksi anoda menuju katoda sehingga reaksi katoda yang menghasilkan energi listrik dapat terjadi (Carrette et al., 2001); (Bossel, 2000). PEM yang pertama kali digunakan dalam sel bahan bakar adalah membran polistiren sulfonasi. Membran ini dikembangkan oleh General elektrik untuk NASA pada tahun 1960an, namun membran ini memiliki beberapa kelemahan seperti kurangnya stabilitas dan rapat daya yang terbatas (Souzy & Ameduri, 2005).

PEM fuel cell merupakan sumber energi yang sangat baik bila diaplikasikan pada alat transportasi, karena perangkatnya mudah didistribusikan dan mudah dibawa. Selain itu, PEM fuel cell memiliki potensial solid state, ringan, rapat arus yang tinggi, dan beroperasi pada temperatur rendah. Pada lima tahun terakhir, penelitian PEM fuel cell mengalami peningkatan yang signifikan. Industri otomotif melakukan investasi melalui berbagai usaha dalam memkomersialisasi PEM fuel cell pada mobil, dengan harapan mampu bersaing dengan kendaraan bermesin bakar internal. Disisi lain, ada berbagai hambatan dalam pengkomersialisasian PEM fuel cell, seperti kurangnya produksi hidrogen dan infrastruktur distribusi, rendahnya kerapatan/densitas wadah penyimpanan gas, masalah kekuatan susunan PEM fuel cell, serta biaya produksinya masih tinggi. Sebagai salah satu komponen utama dari PEM fuel cell, pelat bipolar

membutuhkan material dan desain yang baru dalam rangka mengurangi biaya produksi serta mengurangi bobot fuel cell (Yanto).

Daya PEM tergantung pada kerapatan arus yang dialirkan yang dikendalikan oleh efisiensi katalis pada elektroda dan penurunan hambatan dalam elektrolit, yaitu, konduktivitas proton membran elektrolit polimer yang digunakan dan ketebalannya (Tinggi & Penelitian)

2.4. Struktur PEM Fuel Cell

Dalam melakukan proses penghasilan energi, PEMFC didukung oleh beberapa komponen vital yang saling bekerja secara terintegrasi untuk menghasilkan energi yang optimal. Komponen-komponen vital dalam PEMFC tersebut antara lain adalah *Membrane Electrolyte Assembly (MEA)*, pelat bipolar, *end plate*, dan pengumpul arus. Setiap komponen tersebut mempunyai karakteristik yang berbeda sesuai dengan fungsi dari masing-masing komponen tersebut. Skema struktur dari PEMFC dapat dilihat pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 2.1 Struktur PEM Fuel Cell

Setiap komponen dari PEMFC dibuat dengan menggunakan material yang didesain secara khusus sehingga setiap komponen tersebut dapat bekerja secara optimal. Fungsi dan juga karakteristik dari setiap komponen PEMFC yang telah disebutkan sebelumnya dapat dilihat pada tabel 2.2 (Wang).

Tabel 2.2 Komponen-Komponen Utama PEM *Fuel Cell*

Komponen	Material	Fungsi
Membrane electrolyte assembly (MEA)	Polimer solid terimpegnasi dengan lapisan katalis pada anoda dan katoda. Kertas atau kain carbon berpori untuk lapisan difusi gas (GDL).	Terdiri dari 2 elektroda, 1 membran elektrolit dan 2 GDL. Membrane memisahkan (dengan pembatas gas) 2 setengah reaksi sel dan melepas proton dari anoda ke katoda. Lapisan katalis yang terdispersi pada elektroda memacu setiap setengah reaksi. GDL mendistribusikan gas secara merata ke katalis di membran, mengalirkan elektroda dari area aktif menuju pelat bipolar yang membantu pengaturan air.
Pelat bipolar	Grafit, stainless / atau komposit polimer temoplastik.	Mendistribusikan gas dibagian area aktif membran. Mengalirkan elektron dari anoda menuju katoda. Membuang air keluar sel.
Pelat penutup	Material dengan kekuatan mekanik yang baik (biasanya baja	Menyatukan rangkaian fuel cell.

Komponen	Material	Fungsi
	atau aluminium).	
Penyimpanan arus	Logam dengan kontak elektrik dan konduktifitas yang baik (biasanya tembaga).	Menyimpan dan mentransfer arus listrik dari dalam keluar sirkuit.

2.5 Selulosa Nanokristalin

Selulosa merupakan polimer alam yang *renewable*, *biodegradable* dan non toksik yang telah banyak digunakan umat manusia selama ribuan tahun (Bayer et al., 2016)

Nanokristalin selulosa atau sering disebut sebagai mikrokristal, whiskers, nanokristalin, nanopartikel, *microsystalite*, atau *nanofibers*, memiliki banyak kelebihan, seperti dimensi dengan skala nano, kekuatan tinggi yang spesifik dan modulu, daerah permukaan yang tinggi dan lain lain. Serat berukuran nano ini merupakan material baru yang dapat digunakan sebagai bahan penguat pada matriks polimer (Suryanegara, Nakagaito, & Yano, 2010). Aplikasinya dapat ditambahkan pada polimer untuk membuat komposit untuk otomotif, elektronik, bahan bangunan, serta alat-alat rumah tangga. Sampai saat ini proses pembuatan nanokristalin selulosa masih terus diteliti didunia untuk mendapatkan proses yang lebih cepat, hemat energi, murah, dan bisa menghasilkan nanokristalin dalam jumlah yang besar sehingga layak untuk dibuat dalam bidang industrinya.

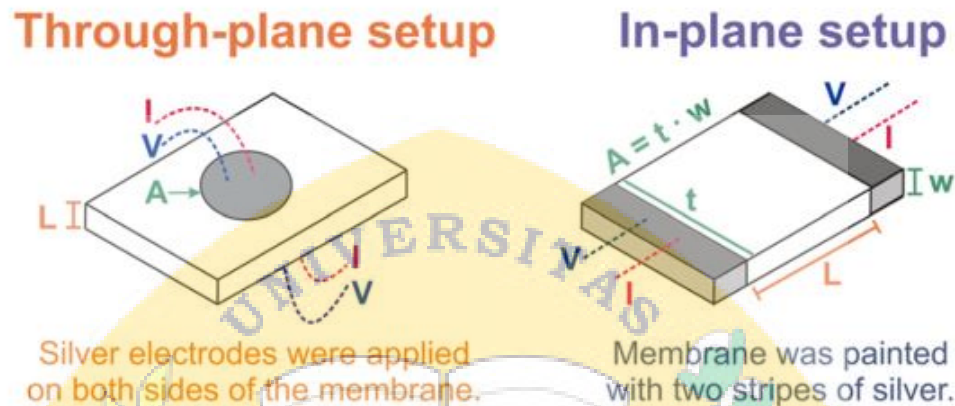
Nanokristalin selulosa dapat dibuat melalui reaksi kimiawi yakni dengan hidrolisis asam kuat. Sebuah hidrolisis asam dikendalikan mudah merusak daerah amorf dari mikrofibril selulosa, yang akan meninggalkan segmen kristalin yang utuh dan mengarah pada pembentukan kristalin tunggal. Tujuan penambahan nanokristalin selulosa pada supramolekular adalah untuk dapat membantu membran supramolekuler dalam menghantarkan proton.

2.6 Pengujian Karakterisasi

2.6.1 Uji Konduktivitas Proton

Konduktivitas proton dari membran ditentukan dengan alat *Impedance Spectroscopy* pengukuran dilakukan dibawah variasi suhu (40-100° C).

Konfigurasi elektroda ditunjukkan pada gambar 2.2 dibawah ini.

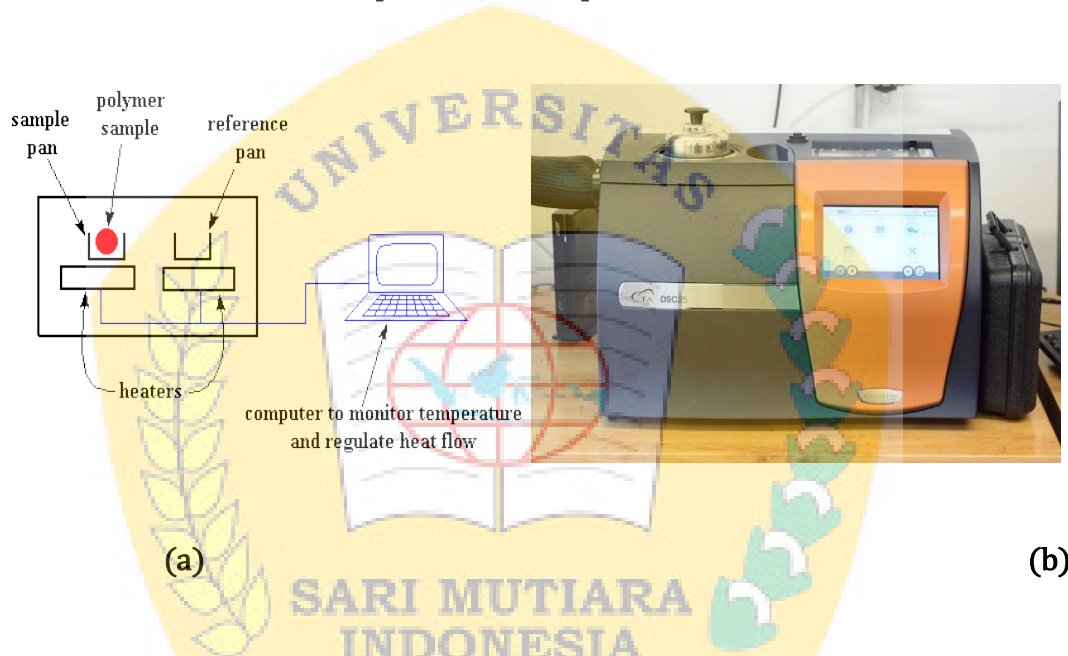


Gambar 2.2 Skema Susunan Pengukuran Konduktivitas Proton Dengan Susunan *Through-Plane* dan *In-plane*

Digunakan untuk menilai hambatan terhadap ketebalan membran (*through plane configuration*) dan (*in-plane configuration*). Sampel dengan area 1x1 cm² digunakan untuk pengukuran susunan melewati bidang (*through plane set up*) dimana dua elektroda tembaga yang sirkular dengan diameter 0.6 cm² dicat pada sisi yang berlawanan dari membran, potongan membran dengan empat persegi panjang dengan ca 1.5 x 0.5 cm² digunakan untuk pengukuran *in-plane*, disini dengan dua potongan tembaga dipisahkan kira-kira 1 cm digunakan sebagai membran. Membran-membran ini ditempatkan pada sampel *holder* yang terbentuk tabung untuk memastikan permukaan membran terpapar sepenuhnya terhadap atmosfer, spektra impedansi direkam diantara 5 Hz dan 5 x 10⁶ Hz dan *test signal* 1000 mV. Konduktivitas dihitung menggunakan rumus $\sigma = L (RA)^{-1}$.

2.6.2 Differential Scanning Calorimetry (DSC)

DSC merupakan salah satu teknik analisis termal di mana perbedaan dalam jumlah panas yang dibutuhkan untuk meningkatkan suhu sampel dan referensi diukur sebagai fungsi temperatur. Program temperatur dirancang sedemikian rupa sehingga suhu *holder* sampel meningkat secara linier sebagai fungsi waktu (Kodre, Attarde, SR, Yendhe, Patil, & Barge, 2014). Selama pengukuran dapat diamati bagaimana perubahan kapasitas panas material (C_p) berubah terhadap perubahan temperatur.



Gambar 2-3 (a) Skema Dasar Pengukuran Dengan DSC dan (b) Instrument DSC jenis TA DSC 25 yang digunakan dalam penelitian

Pada pengukuran DSC, sebuah sampel yang telah diketahui massanya kemudian dipanaskan atau didinginkan dan perubahan kapasitas panasnya dicatat sebagai perubahan aliran panas. Hal ini memungkinkan metode ini untuk mendeteksi transisi fisis material polimer seperti transisi gelas (T_g), kristalisasi (T_c) dan peleburan (T_m) (Supardi, 2015). Keuntungan terbesar dari metode DSC

adalah kemudahan dan kecepatannya dalam memperoleh data tentang transisi fisis dari sebuah sampel.

2.6.3. *Fourier Transform InfraRed (FT-IR)*

Spektroskopi infra merah merupakan salah satu alat yang banyak dipakai untuk mengidentifikasi senyawa baik alami maupun buatan. Bila sinar infra merah dilewatkan melalui cuplikan senyawa organik, maka sejumlah frekuensi akan diserap sedang frekuensi yang lain diteruskan atau ditransmisikan tanpa diserap. Gambaran antara persen absorpsi atau persen transmitansi lawan frekuensi akan menghasilkan suatu spektrum infra merah. Transisi yang terjadi didalam serapan infra merah berkaitan dengan perubahan-perubahan vibrasi dalam molekul (Sastrohadimidjojo(2001).

Daerah radiasi spektroskopi infra merah berkisar pada bilangan gelombang 1280-10 cm^{-1} atau pada panjang gelombang 0,78-1000 μm (Kusumastuti, 2011).

(Hayati, 2007) menambahkan bahwa, dilihat dari segi aplikasi dan instrumentasi spektroskopi infra merah dibagi kedalam tiga jenis radiasi yaitu infra merah dekat, infra merah pertengahan, dan infra merah jauh. Daerah spektroskopi dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.3. Daerah Spektroskopi Infra Merah (Hayati, 2007)

Daerah	Panjang Gelombang μm	Bilangan Gelombang cm^{-1}
Dekat	0.78-2.5	12800-4000
Pertengahan	2.5-50	4000-200
Jauh	50-100	200-10

Energi dalam spektroskopi infra merah dibutuhkan untuk transisi vibrasi, maka radiasi infra merah hanya terbatas pada perubahan energi setingkat molekul. Untuk tingkat molekul, perbedaan dalam keadaan vibrasi dan rotasi

digunakan untuk mengadsorpsi sinar infra merah. Jadi untuk dapat mengabsorpsi, molekul harus memiliki perubahan momen dipol sebagai akibat dari vibrasi. Radiasi medan listrik yang berubah-ubah akan berinteraksi dengan molekul dan akan menyebabkan amplitudo salah satu gerakan molekul (Kusumastuti, 2011).

Komponen utama spektroskopi FTIR adalah interferometer Michelson yang mempunyai fungsi menguraikan (mendispersi) radiasi infra merah menjadi komponen-komponen frekuensi. Penggunaan interferometer Michelson tersebut memberikan keunggulan metode FTIR dibandingkan metode spektroskopi infra merah konvensional maupun metode spektroskopi yang lain. Diantaranya adalah informasi struktur molekul dapat diperoleh secara tepat dan akurat (memiliki resolusi yang tinggi). Keuntungan yang lain dari metode ini adalah dapat digunakan untuk mengidentifikasi sampel dalam berbagai fase (gas, padat atau cair). Kesulitan-kesulitan yang ditemukan dalam identifikasi dengan spektroskopi FTIR dapat ditunjang dengan data yang diperoleh dengan menggunakan metode spektroskopi yang lain (Harmita, 2006).