

## **SIMULASI DISTRIBUSI TEMPERATUR PADA GAS DIFFUSION LAYER SEBUAH SEL BAHAN BAKAR POLYMER ELECTROLYTE MEMBRANE KAPASITAS 20 W**

**Ismail Rusli<sup>1</sup>, Tekad Sitepu<sup>2</sup>**

<sup>1)</sup> Mahasiswa Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

Jl. Almamater Kampus USU, Medan 20155

Email : ismailrusli044@gmail.com

<sup>2)</sup> Staf Pengajar Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

Jl. Almamater Kampus USU, Medan 20155

Email : tekadsitepu@gmail.com

### **ABSTRAK**

Energi menjadi komponen penting bagi kelangsungan hidup manusia karena hampir semua aktivitas kehidupan manusia sangat bergantung pada ketersediaan energi yang cukup dan sumber energi fosil yang mulai menipis. Salah satu bentuk energi alternatif yang menjadi perhatian besar adalah sel bahan bakar dikarenakan energi yang dihasilkan sangat bersih dan lebih efisien. Dalam penelitian ini peneliti mencoba meneliti salah satu dari sel bahan bakar yaitu sel bahan bakar PEM kapasitas 20 W dengan menggunakan hidrogen sebagai bahan bakar. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui fungsi dari *gas diffusion layer* dan membran yang digunakan pada proton *exchange* pada sel bahan bakar. Hasil dari penelitian ini adalah *gas diffusion layer* berfungsi menyediakan lintasan akses reaksi dan produk, membantu penanganan air sebagai produk akhir dan memberikan dukungan untuk MEA serta membran yang digunakan pada proton *exchange* adalah nafion.

Kata kunci : sel bahan bakar, *gas diffusion layer*, proton *exchange*, nafion.

### **Abstract**

*Energy becomes a critical component to human survival because almost all activities of human life depends on the availability of sufficient energy and fossil energy sources thinning. One form of alternative energy is a major concern because of the fuel cell energy produced very clean and more efficient. In this study, researchers tried to examine any of the fuel cell PEM fuel cell capacity of 20 W by using hydrogen as a fuel. The purpose of this study was to determine the function of the gas diffusion layer and the membrane used in proton exchange fuel cells. The results of this study are the gas diffusion layer functions provide access track reactions and products, help treat water as an end product and provide support for MEA, membrane used in proton exchange is Nafion.*

*Keywords : fuel cells, gas diffusion layers, proton exchange, nafion.*

### **1. Pendahuluan**

Semua aktivitas kehidupan manusia sangat bergantung pada ketersediaan energi yang cukup. Untuk beberapa tahun kedepan manusia masih akan memakai energi bahan bakar fosil dikarenakan bahan bakar inilah yang mampu memenuhi kebutuhan energi manusia dalam skala yang besar. Tetapi manusia dihadapi dengan semakin menipisnya bahan bakar fosil yang selama ini digunakan

sebagai penghasil energi, maka dicarilah alternatif peralatan lain yang mampu menghasilkan energi tanpa memakai bahan bakar fosil. Selain itu, dampak pemakaian bahan bakar fosil yang menghasilkan gas karbon monoksida (CO), kurang baik bagi kehidupan dan meningkatnya kerusakan lingkungan. Kebutuhan manusia akan peralatan penghasil energi yang bebas polusi, mudah diaplikasikan, serta fleksibel juga dapat digunakan sebagai energi cadangan di

luar ketergantungan kita terhadap energi yang selama ini disuplai oleh negara. Pencarian energi alternatif ini akan lebih meringankan beban negara karena dapat mengurangi jumlah kebutuhan energi untuk masyarakat yang harus disediakan oleh negara. Pada tahun 1839, William Grove memperkenalkan sel bahan bakar untuk pertama kalinya. Prinsip kerja dari sel bahan bakar adalah kebalikan dari proses elektrolisis. Elektrolisis adalah proses pemisahan  $H_2O$  menjadi  $H_2$  dan  $O_2$ . Sedangkan prinsip kerja sel bahan bakar adalah menggabungkan  $H_2$  dan  $O_2$  untuk membentuk  $H_2O$ . Emisi yang dihasilkan oleh sel bahan bakar jauh lebih kecil jika dibandingkan emisi mesin berbahan bakar fosil sehingga ramah terhadap lingkungan. Ini dikarenakan bahan bakar yang digunakan pada sel bahan bakar adalah hidrogen dan menghasilkan uap air sebagai emisi selama berlangsungnya proses. Sel bahan bakar juga mempunyai nilai efisiensi yang baik

## 2.Sel Bahan Bakar

Teknologi sel bahan bakar pertama kali ditemukan oleh Sir William Robert Grove pada tahun 1839, dimana ia mendemostrasikan pemecahan uap menjadi hidrogen dan oksigen dengan pemanasan katalis seperti platinum [1]. Pada masa sekarang, proses ini dinamakan teknologi reformer. Yang agak mengejutkan penemu teknologi sel bahan bakar (Sir William) adalah seorang sarjana hukum, akan tetapi nasib mengubahnya menjadi seorang ahli fisika setelah ia jatuh sakit dan menjadi professor fisika di sebuah institusi di London antara tahun 1840-1847. Kombinasi kedua disiplin ilmu itu pula yang menyebabkan ia terlibat pada penyusunan hukum paten di dunia komersial. Perkembangan teknologi sel bahan bakar baru terasa setelah terjadi semakin pesatnya perkembangan teknologi material. Perusahaan yang sukses dalam pengembangan aplikasi ini seperti misalnya Pratt & Whitney telah berhasil

mengaplikasikannya untuk misi penerbangan antariksa Gemini IV dan suksesnya pendaratan Apollo di bulan. Sel bahan bakar sebagai salah satu energi alternatif agaknya dapat menjadi pembangkit energi pada dunia otomotif dan mungkin akan bersaing bahkan akan menggeser tiga pilihan energi konvensional yang kini berkompetensi yaitu : mesin pembakaran internal, mesin baterai isi ulang (*rechargeable*) dan mesin hibrida. Sel bahan bakar merupakan alat konversi energi elektrokimia yang akan mengubah hidrogen dan oksigen menjadi air, secara bersamaan menghasilkan energi listrik dan panas dalam prosesnya. Sel bahan bakar merupakan suatu bentuk teknologi sederhana seperti baterai yang dapat diisi bahan bakar untuk mendapatkan energinya kembali, dalam hal ini yang menjadi bahan bakar adalah hidrogen [1].

Keunggulan utama sel bahan bakar dibandingkan pembangkit listrik konvensional adalah [1] :

1. Mempunyai efisiensi tinggi dari 50% sampai 70%, sedangkan untuk kogenerasi dapat mencapai 80%,
2. Tidak menimbulkan suara bising,
3. Konstruksinya modular sehingga fleksibel dalam menyesuaikan dengan sumber bahan bakar yang ada,
4. Mampu menanggapi dengan cepat terhadap perubahan bahan bakar atau oksigen.

Berdasarkan elektrolitnya, secara umum sel bahan bakar dapat diklasifikasikan menjadi 7 tipe yaitu :

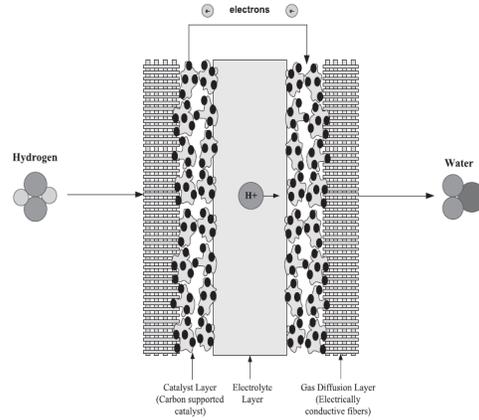
1. *Polymer Electrolyte Membrane (PEM) fuel cell*
2. *Direct methanol fuel cell*
3. *Alkaline fuel cell*
4. *Phosphoric acid fuel cell*
5. *Molten carbonate fuel cell*
6. *Solid oxide fuel cell*
7. *Regenerative fuel cell*

Tabel 1. Jenis Sel bahan bakar dan karakteristik

Jenis	Elektrolit	Temperatur Operasi (°C)	Karakteristik	Penggunaan
<i>Polymer Exchange Membrane (PEM)</i>	Polimer elektrolit (H <sup>+</sup> )	60 – 100	Kerapatan energi tinggi, memiliki kepekaan terhadap CO (<100ppm)	Kendaraan (sedan, bis, minivan), stasiun pembangkit panas
<i>Direct Methanol Fuel Cell (DMFC)</i>	Elektrolit polimer (H <sup>+</sup> )	60 – 120	Efisiensi sistem tinggi, peka terhadap hasil oksidasi di anoda	kendaraan
<i>Alkaline (AFC)</i>	Kalilauge (KOH)	60 – 120	Efisiensi energi tinggi, memiliki kepekaan terhadap CO <sub>2</sub>	Pesawat ruang angkasan kendaraan
<i>Phosphoric Acid Fuel Cell (PAFC)</i>	Phosphoric Acid (H <sup>+</sup> )	160 – 200	Efisiensi energi terbatas, peka terhadap CO (<1,5% Vol)	Stasiun pembangkit panas, kendaraan
<i>Molten Carbonate (MCFC)</i>	Molten Carbonate (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	500 – 650	Problema korosi	Stasiun pembangkit energi panas, pembangkit energi listrik
<i>Solid Oxide (SOFC)</i>	Lapisan keramik (O <sup>2-</sup> )	800 – 1000	Efisiensi sistem tinggi, temperatur operasi perlu diturunkan	Pembangkit energi panas, penggabungan stasiun pembangkit dengan turbin gas

### 3. Komponen Sel Bahan Bakar

Adapun komponen – komponen dari sel bahan bakar dapat terlihat seperti pada gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Komponen - komponen Sel Bahan Bakar

Tabel 2. Komponen dasar dari PEM Sel Bahan Bakar

Komponen	Kegunaan	Bahan yang biasa digunakan
<i>Polymer Electrolyte Membrane</i>	Memungkinkan proton daripada hidrogen untuk mengalir dari anoda menuju katoda	<i>Persulfonic Acid Membrane (Nafion 112, 115, 117)</i>
<i>Catalyst layers</i>	Memisahkan bahan bakar menjadi proton dan elektron. Proton kemudian disatukan dengan oksidan untuk membentuk air pada katoda sel bahan bakar. Elektron lalu mengalir menghasilkan daya	<i>Platinum / carbon catalyst</i>

<i>Gas diffusion layers</i>	Memungkinkan bahan bakar / oksidan untuk mengalir melalui lapisan <i>Polymer Electrolyte Membrane</i>	<i>Carbon cloth atau toray paper</i>
<i>Flow field plates</i>	Mengalirkan bahan bakar dan oksidan ke <i>gas diffusion layer</i>	<i>Graphite, Stainless Steel</i>
<i>Gaskets</i>	Mencegah terjadinya kebocoran bahan bakar, dan membantu mendistribusikan tekanan secara merata	<i>Silicon, teflon</i>
<i>End plates</i>	Menahan lapisan <i>stack</i> tetap pada tempatnya.	<i>Stainless steel, Graphite, Polyethylene, PVC</i>

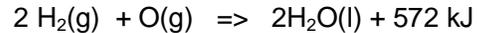
**4.Hidrogen**

Hidrogen sedang dikembangkan sebagai media penyimpanan energi. Hidrogen bukanlah sumber energi utama, namun metode penyimpanan energi yang *portable*, karena hidrogen harus dibuat oleh sumber energi lain. Namun, sebagai media penyimpanan energi, mungkin akan signifikan jika dilihat perannya sebagai energi alternatif. Hidrogen dapat digunakan pada mesin pembakaran internal konvensional atau pada sel bahan bakar yang mengubah energi kimia secara langsung menjadi energi listrik tanpa pembakaran. Proses produksi hidrogen membutuhkan proses perubahan gas alam oleh uap, atau dengan cara yang mungkin lebih ekologis, elektrolisis air menjadi hidrogen dan oksigen. Cara yang lama menghasilkan karbondioksida dalam prosesnya sebagai hasil sampingan. Kehilangan energi terjadi pada siklus penyimpanan hidrogen dari produksinya untuk pemakaian langsung pada kendaraan, pengembunan atau kompresi, dan konversi kembali menjadi listrik, serta siklus

penyimpanan hidrogen untuk pemakaian sel bahan bakar stasioner seperti kombinasi mikro panas dan energi dengan biohidrogen, pengembunan atau kompresi, dan konversi menjadi listrik [1].

Gas hidrogen adalah gas yang mudah terbakar. Gas hidrogen bersifat eksplosif jika membentuk campuran dengan udara dengan perbandingan volume 4% - 75% dan dengan klorin dengan perbandingan volume 5%-95%. Disebabkan gas hidrogen sangat ringan maka api yang disebabkan pembakaran gas hidrogen cenderung bergerak ke atas dengan cepat sehingga mengakibatkan kerusakan yang sangat sedikit jika dibandingkan dengan api yang berasal dari pembakaran hidrokarbon. Reaksi spontanitas ini biasanya di picu oleh adanya kilatan api, panas, atau cahaya matahari.

Entalpi pembakaran gas hidrogen adalah -256 kJ/mol dengan reaksi:



Hidrogen sangat reaktif dan bereaksi dengan setiap unsur yang bersifat oksidator dan bersifat lebih elektronegatif dibandingkan hidrogen seperti golongan halida. Hidrogen dapat bereaksi secara spontan dengan klorin dan fluorin pada temperatur kamar membentuk hidrogen halida. Hidrogen juga dapat membentuk senyawa dengan unsur yang kurang bersifat elektronegatif misalnya logam dengan membentuk hidrida. Kelarutan hidrogen dalam pelarut organik sangat kecil jika dibandingkan dengan kelarutannya dalam air. Hidrogen dapat terserap dalam metal seperti baja. Penyerapan hidrogen oleh baja ini menyebabkan baja bersifat mudah patah sehingga menyebabkan kerusakan dalam pembuatan peralatan. Dengan sifat ini maka ilmuwan dapat menyimpan gas hidrogen dalam logam platinum.

### 5. Struktur Proton Exchange

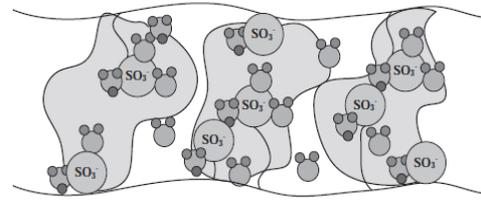
Bagian dasar dalam membran proton exchange di sel bahan bakar adalah awalnya disusun oleh William T. Grubb pada tahun 1959. Itu adalah usaha awal yang diupayakan untuk meningkatkan polimer asam *perfluorosulfonic* yang menjadi sistem sekarang ini [2].

Pada sistem sel bahan bakar terdapat membran elektrolit yang merupakan komponen dari sistem ini. Fungsi dari membran pada sel bahan bakar adalah sebagai elektrolit dan pemisah dua gas reaktan. Sebagai elektrolit, membran sel bahan bakar menjadi sarana transportasi ion hidrogen yang dihasilkan oleh reaksi anoda menuju katoda, sehingga reaksi pada katoda yang menghasilkan energi listrik dapat terjadi. Elektrolit sel bahan bakar PEM harus memenuhi persyaratan berikut agar dapat bekerja secara teratur [2] :

- Konduktivitas ionik tinggi,
- Menyediakan persediaan yang cukup untuk reaktan,
- Stabil secara kimia dan mekanikal,
- Konduktivitas elektrik yang rendah,
- Dapat dimanufaktur ataupun tersedia,
- Harga yang rendah.

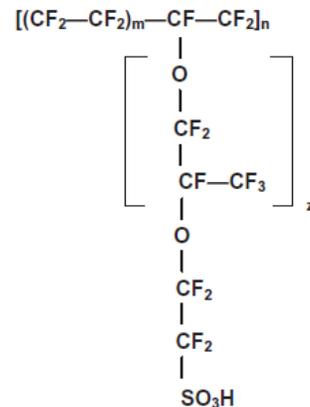
Materialnya adalah sebuah penyekat elektrik dan sebagai hasilnya adalah konduksi ion terbawa dengan gugusan ionik dengan struktur polimer. Transportasi ion dalam beberapa jaringan adalah sangat dipengaruhi oleh loncatan dan air bebas yang diasosiasikan dengan jaringan tersebut.

Salah satu membran sel bahan bakar yang digunakan secara komersial adalah Nafion dan belakangan ini telah dilakukan penelitian untuk mendapat membran alternatif selain Nafion, yaitu Membran Kitosan.



Gambar 2. Ilustrasi Gambar Nafion

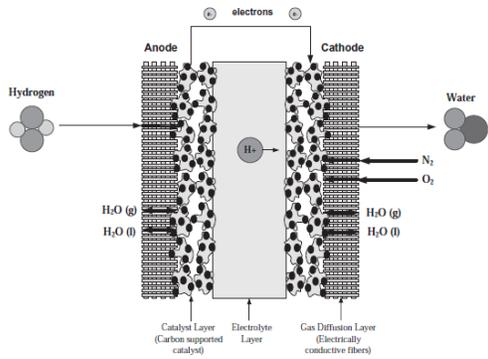
Karakterisasi membran elektrolit (Nafion 117) dan elektroda sel bahan bakar sebagai komponen utama sel bahan bakar merupakan faktor penting sebelum dilakukannya pembuatan membran dan elektroda sel bahan bakar. Hasil analisa termal menunjukkan bahwa membran Nafion 117 dan elektroda masing-masing mempunyai ketahanan termal 327 °C dan di atas 550 °C [2].



Gambar 3. Struktur Kimia Nafion

### 6. Lapisan Gas Difusi

Lapisan gas difusi berada diantara lapisan katalis dan plat bipolar. Pada sel bahan bakar PEM, katalis, gas difusi dan lapisan membran (*Membran Electroda Assembly (MEA)*) yang berada diantara aliran tempat plat. Lapisan gas difusi atau *Gas diffusion layer (GDL)* adalah lapisan terluar pada MEA. MEA memberikan kontak listrik antara elektroda dan plat bipolar dan mendistribusikan reaktan ke lapisan katalis.



Gambar 4. Aliran yang masuk dan keluar dari lapisan gas difusi

Tabel 3. Persamaan yang digunakan pada pemodelan lapisan gas difusi

Karakteristik model	Deskripsi/persamaan
jumlah dimensi	1, 2, atau 3
Mode operasi	Dinamis atau keadaan steady
fase	Gas, cairan atau kombinasi dari gas dan cairan
Transportasi massa	Persamaan <i>Stefan-Maxwell</i>
Transport ion	Hukum Ohm
Kesetimbangan energi	Isothermal atau kesetimbangan energi

Gas difusi terbuat dari bahan konduktif elektrik. Media difusi kebanyakan terdiri dari lapisan difusi gas tunggal atau struktur komposit dari lapisan gas difusi dan lapisan pori mikro. Kebanyakan model dalam literatur hanya mencakup lapisan gas difusi tersebut.

Tabel 3. Sifat kertas karbon yang digunakan komersial sebagai substrat untuk elektroda sel bahan bakar PEM

Kertas karbon	Ketebalan (mm)	Sifat menyerap (%)	Massa jenis(g/cm <sup>3</sup> )
Toray TGPH 090	0.30	77	0.45
Kureha E-715	0.35	60 to 80	0.35 to 0.40
Spectracarb 2050A-1041	0.25	60 to 90	0.40

GDL dapat ditambah dengan fluoropolimer dan karbon hitam untuk meningkatkan pengelolaan air dan sifat listrik. Jenis material ini memberikan keefektifan reaktan dari gas difusi ke perakitan membran/elektroda. Struktur ini memungkinkan gas untuk menyebar karena berdifusi untuk memaksimalkan permukaan bidang kontak dari membran lapisan katalis.

Ketebalan dari berbagai bahan gas difusi bervariasi antara 0,0017 dan 0,04 cm, kerapatannya bervariasi antar 0,21 dan 0,73 g/cm<sup>2</sup>, dan porositas bervariasi antara 70% dan 80% [2]. GDL yang paling umum digunakan adalah bahan kain karbon dan kertas karbon. Sifat dari beberapa karbon yang tersedia secara komersial ditunjukkan pada tabel 3.

### 7. Aplikasi Sel Bahan Bakar

Di Indonesia bahan bakar fosil (*primary energy*) merupakan bahan bakar utama pembangkit listrik. Pada tahun 2003 kebutuhan energi untuk pembangkit listrik Indonesia diproyeksikan akan mencapai 192.080 GWH, 86% nya dipenuhi oleh bahan bakar fosil. Untuk keperluan tersebut batubara akan dibakar sebanyak 61,394 juta ton, sedangkan konsumsi minyak dan gas bumi sehingga dikhawatirkan Indonesia akan mengimpor minyak pada saat ini. Melihat proyeksi kebutuhan energi yang besar ini dan guna meningkatkan peran swasta menengah, pemerintah telah mengeluarkan pola mekanisme kerjasama dalam bidang pembangkit listrik antara PLN dan swasta. Diharapkan swasta menengah dapat berpartisipasi pada proyek ketenagalistrikan berskala kecil, dalam hal : konsultasi, rekayasa peralatan pembangkit listrik, pembangunan dan pemasangan serta pemeliharaan peralatan, menunjang penyediaan tenaga listrik dan tenaga ahlinya. Peningkatan permintaan energi listrik di seluruh dunia menyebabkan pemacuan penelitian untuk meningkatkan efisiensi berbagai teknologi pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar fosil.

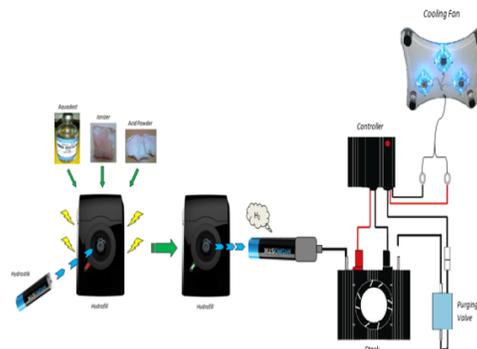
Dari beberapa jenis sel bahan bakar yang ada, masing-masing mempunyai spesifikasi dalam aplikasinya, karena hal ini berkaitan dengan kondisi operasi sel bahan bakar tersebut [1]. Sel bahan bakar dengan kondisi operasi pada suhu seperti PEMFC cocok digunakan pembangkit listrik skala kecil (*portable power*) sedangkan sel bahan bakar dengan suhu operasi menengah dan suhu tinggi seperti : PAFC, MCFC, dan SOFC sangat cocok untuk aplikasi pembangkit listrik skala besar (*power plant*) karena mampu untuk diaplikasikan pada *co-generation* dan *combined cycle*.

Pengembangan PEMFC sebagai *stationary power generation* banyak diaplikasikan pada pemenuhan listrik untuk perumahan dengan kapasitas 1-7 KW. Untuk keperluan listrik perumahan, PEMFC dapat menggunakan bahan bakar gas alam atau LPG setelah melalui proses reformasi menjadi gas hidrogen.

**8.Experimental Setup**

Pengujian ini dimulai dengan melakukan pemisahan molekul H<sub>2</sub>O dari aquadest menjadi H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub>. Dan lalu kemudian H<sub>2</sub> tersebut diisi ke dalam tabung pengisian *Hydrostik*. Pada saat pemisahan molekul H<sub>2</sub>O ini dilakukan pembacaan temperatur air dengan menggunakan *Agilent*. Kabel – kabel *termocouple* dihubungkan ke dalam air yang akan dielektrolisis. Flash disk dihubungkan ke *Agilent* untuk pembacaan data. Setelah *Hydrostik* penuh diisi dengan H<sub>2</sub> maka flash disk dicabut dan kemudian dibaca menggunakan microsoft excel. Setelah pengisian *Hydrostik* penuh, maka kemudian flash disk dihubungkan kembali ke *Agilent* untuk pembacaan pada saat *hydrostik* dihubungkan ke *stack* dan menghasilkan listrik. Kabel – kabel *termocouple* dihubungkan pada permukaan *hydrostik*, lubang input dan lubang output yang terdapat pada *stack fuel cell*. Setelah *fuel cell* beroperasi secara penuh dan hidrogen yang terdapat di dalam *hydrostik* habis, flash

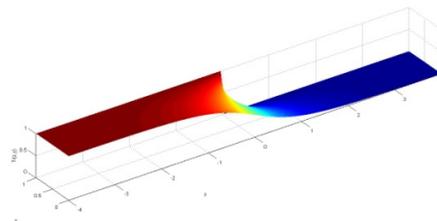
disk dicabut dan dibaca menggunakan excel untuk mengetahui temperatur pada kondisi saat pengoperasian.



Gambar 5. *Experimental Setup*

**9.Simulasi pemodelan temperatur dan konsentrasi oksigen pada Gas Diffusion Layer**

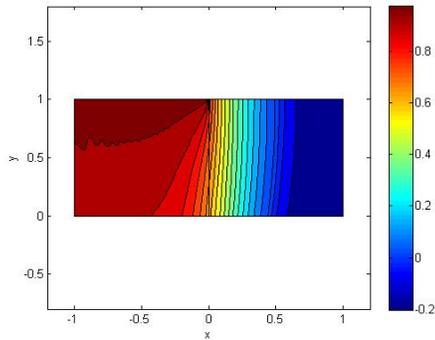
Dengan menggunakan perintah pada software MATLAB untuk membuat simulasi pemodelan temperatur lapisan dalam *Gas Diffusion Layer*, hasil yang didapat adalah :



Gambar 6. Grafik 3D dari temperatur lapisan dalam GDL.

Dari grafik dapat dilihat adanya penurunan temperatur yang terjadi pada lapisan dalam *gas diffusion layer*.

Dengan menggunakan perintah pada software MATLAB untuk membuat simulasi pemodelan konsentrasi oksigen *Gas Diffusion Layer*, hasil yang didapat adalah :



Gambar 7. Pemodelan konsentrasi oksigen pada GDL

## 10. Kesimpulan

1. *Gas diffusion layer* pada sel bahan bakar *Polymer Electrolyte Membrane* berfungsi menyediakan lintasan akses reaksi dan produk, membantu penanganan air sebagai produk akhir dan memberikan dukungan untuk *Membrane Electroda Assembly*.
2. Membran yang digunakan pada *proton exchange* adalah Nafion.
3. Hasil simulasi menggunakan software MATLAB menunjukkan adanya penurunan temperatur yang terjadi pada lapisan dalam *gas diffusion layer*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hasan, Ahmad. 2007. Aplikasi Sistem *Fuel Cell* Sebagai Energi Ramah Lingkungan di Sektor Transportasi dan Pembangkit. Jakarta
- [2] Spiegel, Colleen. 2008. *PEM Fuel Cell Modeling and Simulation Using MATLAB*. Elsevier's Science & Technology Rights Department in Oxford, UK