

## ANALISA EFISIENSI KIPAS DAN SIMULASI KECEPATAN HIDROGEN DI DALAM *MICRO CHANNEL* SEL BAHAN BAKAR *POLYMER ELECTROLYTE MEMBRANE* KAPASITAS 20W

**Juwirianto<sup>1</sup>, Himsar Ambarita<sup>2</sup>**

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

Jl. Almamater Kampus USU, Medan 20155

Email : juwi1245@yahoo.co.id

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

Jl. Almamater Kampus USU, Medan 20155

Email : himsar@gmail.com

### ABSTRAK

Bahan bakar fosil merupakan salah satu sumber bahan bakar penggerak energi listrik, mobil, maupun peralatan - peralatan lain. Namun akibat dari penggunaan besar - besaran oleh manusia di muka bumi ini, semakin lama bahan bakar fosil yang tersedia di muka bumi ini akan habis pada saatnya. Sebelum habisnya bahan bakar fosil yang tersedia di muka bumi ini, harus dicari bahan bakar alternatif yang tidak terbatas sumbernya. Salah satu bahan bakar alternatif adalah hidrogen murni. Fokus kajian ini sel bahan bakar jenis *Polymer Electrolyte Membrane* (PEM). Tujuannya adalah salah satu dasar kajian awal untuk kajian - kajian selanjutnya. Sel bahan bakar merupakan salah satu peralatan yang menggunakan hidrogen sebagai bahan bakar utama untuk menghasilkan listrik berarus DC. Hidrogen murni dihasilkan dari hidrolisis *aquadest*. Hidrogen yang dihasilkan dialirkan ke sel bahan bakar untuk kemudian diproses dan akan menghasilkan tegangan listrik. Hasil kajian menunjukkan 10 liter hidrogen yang menghasilkan tegangan listrik sebesar 10V selama 30 menit. Kesimpulan dari hasil kajian menunjukkan efisiensi kipas pada *stack* sel bahan bakar adalah 0,579 dan aliran hidrogen yang terjadi di dalam *microchannel* adalah aliran laminar penuh, selain itu sel bahan bakar belum dapat berfungsi maksimal akibat tingkat ketahanan sel bahan bakar sangat rendah.

Kata kunci : sel bahan bakar, hidrogen, PEM

### Abstract

*Fossil fuels are resources that produce electricity, power cars, and another equipment. Because of massive usage by human in earth, by the time fossil fuels will completely run out. Before this fossil fuels run out, we shall look for another unlimited alternative fuels. One of those alternative fuels is hydrogen. This study concerned with the Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell. This study will become the first study so there shall be a continuous study of fuel cell. Fuel cell is one of a lot equipment that use hydrogen as their fuel. Fuel cell produce DC electricity. Pure hydrogen come from aquadest hydrolisist. Hydrogen then provided to fuel cell for processed, and it will produce electricity. This study shows that 10 litre of hydrogen can produce electricity in the amount of 10V for 30 minutes. Otherwise this study also showed that the fan efficiency on fuel cell stack is 0,579 and hydrogen flow inside microchannel is laminar, otherwise fuel cell cannot operate at maximum performance because of the fuel cell endurance.*

Keywords : Fuel cell, hydrogen, PEM

### 1. Pendahuluan

Beberapa tahun yang akan datang sel bahan bakar ini akan menjadi salah satu energi alternatif yang akan banyak dikembangkan oleh negara - negara berkembang di seluruh dunia.

Didasarkan atas fakta bahwa penggunaan bahan bakar fosil sebagai energi telah mengakibatkan banyak konsekuensi yang negatif, antara lain adalah polusi udara, penambangan yang sangat masif terhadap sumber daya alam, serta kontrol politik dan

monopoli dari negara – negara yang mempunyai sumber daya yang sangat banyak. Sel bahan bakar sekarang ini semakin mendekati komersialisasi dari yang sebelumnya pernah terjadi karena mempunyai kemampuan untuk memenuhi kebutuhan global akan energi yang sesuai dan ramah lingkungan.

Dalam kurun waktu enam tahun terakhir sel bahan bakar telah berkembang dan banyak diteliti untuk penggunaan pada pesawat luar angkasa, stasiun pengendali cuaca, serta aplikasi – aplikasi militer. Sistem sel bahan bakar ini menggunakan bahan bakar hidrogen murni. Dalam kondisi yang ideal sel bahan bakar dapat mencapai tingkat performansi energi hampir mencapai 100%.

Tujuan dari tulisan ini adalah menyajikan pembahasan dasar dari sel bahan bakar dan menjelaskan parameter - parameter yang akan dianalisis yaitu efisiensi kipas dan simulasi kecepatan hidrogen dalam mikrochannel.

## 2. Sel bahan bakar

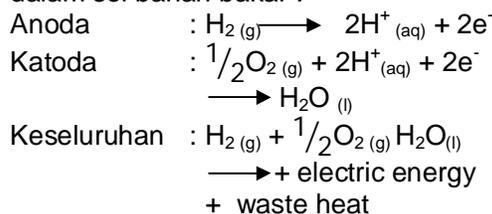
### 2.1 Prinsip dasar

Sel bahan bakar bekerja berdasarkan prinsip pembakaran listrik - kimiawi. Sel bahan bakar terdiri dari elektrolit yang memisahkan katoda dari anoda, elektrolit hanya dapat menghantarkan ion saja, sedangkan elektron tidak dapat melewati elektrolit, jadi elektrolit ini bukanlah penghantar listrik dan juga menghindarkan terjadinya reaksi kimia [1].

Gas hidrogen yang memiliki tekanan tertentu memasuki fuel cell di kutub anoda. Gas hidrogen ini akan bereaksi dengan katalis dengan dorongan dari tekanan. Ketika molekul H<sub>2</sub> kontak dengan platinum pada katalis, molekul akan terpisah menjadi dua ion H<sup>+</sup> dan dua elektron (e<sup>-</sup>). Elektron akan mengalir melalui anoda, elektron-elektron ini akan membuat jalur di luar sirkuit fuel cell dan melakukan kerja listrik, kemudian mengalir kembali ke kutub katoda pada fuel cell.

Di sisi lain, pada kutub katoda fuel cell, gas oksigen (O<sub>2</sub>) didorong gaya tekan kemudian bereaksi dengan katalis membentuk dua atom oksigen. Setiap atom oksigen ini memiliki muatan negatif yang sangat besar. Muatan negatif ini akan menarik dua ion H<sup>+</sup> keluar dari membran PEM, lalu ion-ion ini bergabung dengan satu atom oksigen dan elektron-elektron dari luar sirkuit untuk membentuk molekul air (H<sub>2</sub>O) [2].

Reaksi – reaksi yang terdapat di dalam sel bahan bakar :



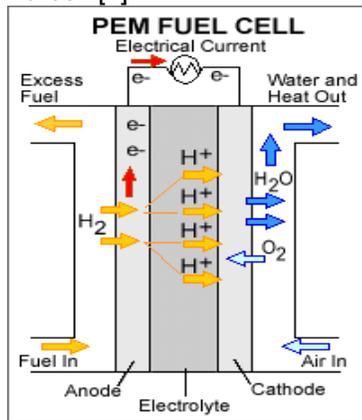
### 2.2 Jenis – Jenis Sel bahan bakar

Sel bahan bakar diklasifikasikan berdasarkan atas jenis dari elektrolit yang digunakan. Klasifikasi ini menentukan jenis reaksi kimia yang terjadi di dalam sel, jenis katalis yang diperlukan, batas temperatur dimana sel tersebut bekerja, bahan bakar yang dibutuhkan, dan faktor – faktor lainnya. Adapun sel bahan bakar hingga saat ini terbagi menjadi 7 klasifikasi utama antara lain :

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

*Proton Exchange Membrane (PEM)* lebih dikenal sebagai *Polymer Electrolyte Membrane* menyalurkan berat jenis yang tinggi dan menawarkan keuntungan pada berat dan volume yang rendah, dibandingkan dengan sel bahan bakar yang lainnya. Sel bahan bakar PEM menggunakan polimer solid sebagai elektrolit dan elektroda karbon yang mengandung katalis platinum. PEM membutuhkan hanya hidrogen, oksigen dari udara, dan air untuk

beroperasi dan tidak memerlukan cairan korosif [1].



Gambar 1. Aliran hidrogen dan oksigen di dalam sel bahan bakar PEM

*Direct methanol fuel cell (DMFC)* digerakkan menggunakan methanol murni, yang dicampur dengan uap dan dialirkan secara langsung ke anoda daripada sel bahan bakar. DMFC ini tidak mempunyai permasalahan tempat penyimpanan seperti sel bahan bakarlain pada umumnya.

*Alkaline fuel cells* adalah salah satu dari teknologi sel bahan bakaryang dikembangkan, dan merupakan yang pertama digunakan secara luas untuk program penghasil energi listrik dan air pada pesawat luar angkasa oleh NASA. Sel bahan bakar ini menggunakan potasium hidroksida dalam air sebagai elektrolit dan dapat menggunakan beberapa jenis dari metal sebagai katalis pada anoda dan katoda.

*Phosporic Acid Fuel Cell (PAFC)* menggunakan cairan asam fosfor sebagai elektrolit dan elektroda besi karbon yang mengandung katalis platinum. PAFC ini lebih dikenal sebagai generasi pertama dari sel bahan bakarmodern. PAFC lebih toleran terhadap ketidakmurnian daripada bahan bakar yang telah diubah menjadi hidrogen daripada Sel bahan bakar PEM.

*Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC)* saat ini sedang dikembangkan untuk gas natural dan batubara untuk kegunaan elektrik, industri, dan aplikasi militer. MCFC adalah sel bahan bakaryang bekerja pada temperatur tinggi yang menggunakan elektrolit

yang terdiri dari *molten carbonate salt mixture*, lithium aluminium oksida ( $LiAlO_2$ ).

*Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)* menggunakan bahan keramik yang keras dan tidak mudah berkarat sebagai elektrolit. SOFC ini diharapkan dapat memiliki efisiensi 50 – 60 % untuk mengubah bahan bakar menjadi listrik.

*Regenerative Fuel Cell* menghasilkan listrik dari hidrogen, oksigen, membangkitkan panas dan air sebagai bahan bakar, seperti sel bahan bakarlainnya. *Regenerative fuel cell* juga dapat menggunakan elektrolisa dari *solar power* atau sumber lainnya untuk membagi kelebihan air menjadi bahan bakar hidrogen dan oksigen. Sel bahan bakar jenis ini sedang dikembangkan oleh NASA dan perusahaan lainnya [3].

### 2.3 Komponen - komponen sel bahan bakar

Adapun komponen – komponen dari sel bahan bakar dapat terlihat seperti pada gambar 2.

Tabel 1 menunjukkan komponen - komponen sel bahan bakar, beserta dengan kegunaan dan bahan yang bisa digunakan untuk memproduksi komponen tersebut [1].

Tabel 1. Komponen dasar dari PEM Fuel Cell

Komponen	Kegunaan	Bahan yang biasa digunakan
<i>Polymer Electrolyte Membrane</i>	Memungkinkan proton daripada hidrogen untuk mengalir dari anoda menuju katoda	Persulfonic Acid Membrane (Nafion 112, 115, 117)
<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	Platinum / carbon catalyst

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

Tabel 2. Klasifikasi dari Microchannels

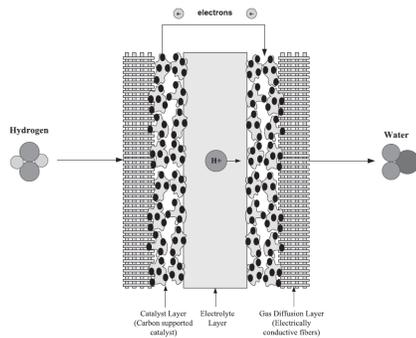
<i>Classification</i>	<i>Hydraulic Diameter Range</i>
Convectonal	$D_h > 3\text{mm}$
Minichannel	$3\text{mm} > D_h > 200\mu\text{m}$
Microchannel	$200\mu\text{m} > D_h > 10\mu\text{m}$

Tabel 3. Channel Dimensions (microns [ $\mu\text{m}$ ])

	Continuum Flow	Slip Flow
Air	$>67$	0.67 - 67
H <sub>2</sub>	$>123$	1.23 - 123

Parameter permodelan yang penting adalah :

- Ukuran, berat, dan volume pada daya yang diinginkan
- Temperatur
- Kelembaban dan pengaturan air
- Tekanan bahan bakar dan oksidan



Gambar 2. Komponen - komponen Sel bahan bakar

### 2.4 Pemodelan sel bahan bakar mikro

Beberapa perbedaan antara sistem makroskopik dan mikroskopik meliputi antara lain :

- Pengaruh permukaan yang lebih penting daripada pengaruh di dalamnya
- Volume yang sangat kecil
- Permasalahan terhadap gelembung - gelembung
- Tidak adanya aliran turbulen yang tidak diinginkan

Klasifikasi dari tipe mikrochanel dapat dilihat pada tabel 2. Pada tabel 3 menunjukkan perbedaan aliran untuk aturan dimensi saluran untuk udara dan hidrogen [1].

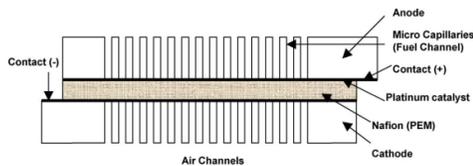
Ketebalan dari elektroda pada sel bahan bakar tradisional biasanya adalah 250 - 2000 angstroms (Å) dengan muatan katalis 0,5 mg/cm<sup>2</sup>. Untuk sel bahan bakar mikro, muatan platinum adalah dari 5 - 60 nm (ketebalan), dengan muatan platinum-ruthenium untuk anoda antara 2 dan 6 mg/cm<sup>2</sup>, dan muatan platinum untuk katoda antara 1,3 dan 2 mg/cm<sup>2</sup>. Lapisan adhesi disimpan sebelum lapisan katalis, dan biasanya memiliki ketebalan 25 - 300Å.

Lapisan difusi terbuat dari material anti karat yang konduktif seperti karbon atau kertas Toray. Ketebalan dari lapisan difusi ini biasanya 0,25 - 0,40 mm. konduktifitas dari kertas dapat ditingkatkan dengan memasukkan bubuk yang konduktif terhadap listrik seperti karbon hitam. Untuk membantu memindahkan air dari pori - pori kertas karbon, lapisan difusi dapat diberikan PTFE (*Polytetrafluoroethylene*).

Plat bipolar yang paling sederhana (pada sel bahan bakar yang besar) terbuat dari stainless steel atau grafit. Plat stainless steel adalah komponen berat untuk sistem portabel atau

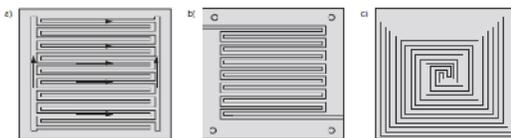
*micropower*. Plat grafit solid sangatlah konduktif, lambat secara kimia, dan tahan terhadap korosi, tetapi mahal, rapuh, dan mahal untuk dibuat. Material yang telah digunakan untuk pembuatan sel bahan bakar MEMS adalah *silicon wafers*, kertas karbon, PDMS (*Polydimethylsiloxane*), SU-8, tembaga, dan kertas logam stainless steel [4].

Gambar 5 menunjukkan tampilan Tampilan *stack Cross-sectional* pada *Direct Ethanol Fuel cell* [4].



Gambar 5. Tampilan *stack Cross-sectional* pada *Direct Ethanol Fuel cell*

Pada sel bahan bakar PEM, ruang alir harus didesain untuk mengurangi penurunan tekanan ketika memberikan perpindahan massa yang cukup dan seimbang melalui lapisan difusi karbon menuju permukaan katalis untuk reaksi. Tiga konfigurasi saluran yang paling terkenal untuk sel bahan bakar tradisional adalah *serpentine*, *parallel*, dan *interdigitate flow*.

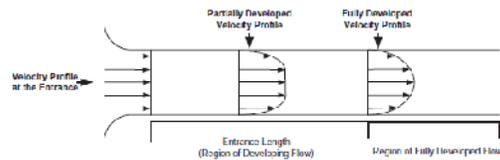


Gambar 6. Desain ruang alir *Interdigitated, serpentine, dan spiral-interdigitated*

### 2.5 Kecepatan di dalam *microchannels*

Terdapat dua daerah nyata dari aliran di dalam sebuah *microchannel* : aliran masuk dan daerah aliran regular. Ketika fluida atau gas memasuki saluran tersebut, aliran (kecepatan) berubah dari datar menjadi lebih melingkar dan kemudian menjadi bentuk parabolik. Seketika hal ini terjadi, maka kecepatan aliran akan berada pada kondisi daerah

berkembang penuh, seperti ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 7. Kecepatan yang bertambah dari daerah masuk menjadi berkembang penuh di dalam sebuah *microchannel*

Bentuk parabolik adalah bentuk yang biasa dari aliran laminar di dalam saluran, dan diakibatkan oleh adanya lapisan batas. Ketika fluida pertama kali memasuki saluran, kecepatan tidak akan lagi berada pada kondisi parabolik. Melainkan, akan berkembang melewati sebuah jarak yang disebut panjang masuk.

Nilai volumetric dari area yang terdapat pada bagian saluran dapat ditulis dengan persamaan [1]:

$$Q = \frac{8Hw^3}{\mu\pi^4} \left( -\frac{dp}{dx} \right) \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \frac{1}{(2n-1)^4} - \frac{2w}{(2n-1)^5\pi H} \tanh \left( (2n-1)\pi H/2w \right) \right] \dots\dots\dots(1)$$

dengan Q adalah laju aliran volumetrik, dan dp/dx adalah gradien tekanan sepanjang x. gradien tekanan dapat dihubungkan dengan kecepatan rata-rata u [1]:

$$\frac{dp}{dx} = -\frac{4k\mu u}{H^2} \dots\dots\dots(2)$$

dimana k adalah konstanta yang berhubungan dengan aspek rasio sebuah saluran persegi.

### 2.6 Efisiensi Kipas

Metode yang paling umum digunakan untuk mengalirkan udara ke sel bahan bakar ada melalui penggunaan kipas angin maupun *blower*. Kipas angin tau *blower* di gerakkan oleh motor listrik, yang mana motor listrik memerlukan daya dari sel bahan bakar maupun sumber yang lain untuk bisa bergerak. Yang paling sering digunakan adalah kipas angin searah,

yang lebih efektif untuk menggerakkan udara disekitar komponen , tapi tidak terlalu efektif jika terdapat tekanan yang besar.

Tekanan balik dari kipas tipe ini adalah sangat rendah yaitu 0.5 cm dari air. Kipas ini lebih cocok untuk rancangan hidrogen-udara Sel bahan bakar PEM. Persamaan untuk menentukan daya dari kipas ini adalah sebagai berikut [1] :

$$W_{act} = \frac{W_{ideal}}{\eta_s} \dots\dots\dots(3)$$

Kecepatan dan daya aktual yang diperlukan dapat dicari dari tabel manufaktur, disana juga ditentukan laju volume dan tekanan masuk. Data kipas juga kadangkala bisa direpresentasikan untuk mendapatkan parameter tak berdimensi. Ditentukan dengan :

Efisiensi isentropic [1]:

$$\eta_{fan} = \frac{W_{ideal}}{W_{actual}} \dots\dots\dots(4)$$

**2.7 Stack Sel bahan bakar**

Pengukuran dari sebuah *stack* sel bahan bakar sangatlah sederhana, terdapat dua variabel independen yang harus dipertimbangkan (tegangan dan daya). Syarat yang diketahui adalah tenaga maksimum, tegangan, dan/atau daya. Kembali bahwa tenaga output adalah produk dari tegangan *stack* dan daya [1]:

$$W_{PC} = V_{st} \cdot I \dots\dots\dots(5)$$

Pertimbangan lainnya yang membantu ketika mendesain sebuah *stack* sel bahan bakar adalah daya dan berat jenis daya. Kebanyakan variabel ini tidak tersedia pada awalnya, dan dapat dihitung dari tenaga output yang diinginkan, tegangan *stack*, efisiensi, dan volume dan juga batasan berat. Daya adalah produk dari berat jenis daya dan area aktif dari sel [1] :

$$I = i \cdot A_{cell} \dots\dots\dots(6)$$

Jumlah sel di dalam *stack* kebanyakan ditentukan oleh kebutuhan tegangan maksimal dan tegangan operasi yang diinginkan. Potensial

*stack* total adalah jumlah dari tegangan *stack* atau produk dari rata - rata potensial sel dan banyaknya sel didalam *stack* adalah [1] :

$$V_{st} = \sum_{i=1}^{N_{cell}} V_i = \bar{V}_{cell} \cdot N_{cell} \dots\dots\dots(7)$$

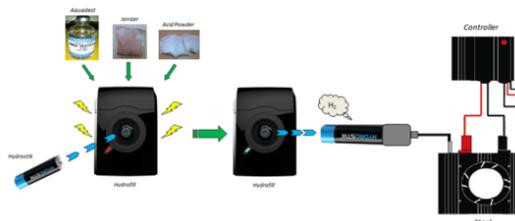
Area sel harus didesain untuk mendapatkan daya yang diinginkan untuk *stack*. Ketika hal ini dikalikan dengan total voltase *stack*, daya maksimum yang dihasilkan untuk *stack* akan didapatkan. Tegangan rata - rata dan berat jenis daya terpilih yang cocok dapat memilih efek yang besar terhadap ukuran dan efisiensi *stack*. Efisiensi *stack* sel bahan bakar dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan [1] :

$$\eta_{stack} = \frac{V_{cell}}{1,482} \dots\dots\dots(8)$$

**3. 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>. 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 (aquadest) dengan menggunakan Agilent. Kabel – kabel *termocouple* dihubungkan ke dalam air yang akan dihidrolisis. 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 pengambilan data temperatur air menggunakan microsoft excel selesai, maka kemudian flash disk dihubungkan kembali ke Agilent untuk pembacaan pada saat *hydrostik* dihubungkan ke *stack* sel bahan bakar dan menghasilkan listrik. Kabel – kabel *termocouple* dihubungkan pada permukaan *hydrostik*, lubang input dan lubang output yang terdapat pada *stack* sel bahan bakar. 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 8. *Experimental Setup*

**4. Hasil dan Pembahasan**

Tabel 4. Temperatur aquadest saat proses hidrolisa H<sub>2</sub>O menjadi H<sub>2</sub> menggunakan *Hydrofill*

Temperatur Aquadest Saat Hidrolisa H <sub>2</sub> O menjadi H <sub>2</sub> (Tanggal 25 Mei 2012 dalam °C)	Temperatur Aquadest Saat Hidrolisa H <sub>2</sub> O menjadi H <sub>2</sub> (Tanggal 29 Mei 2012 dalam °C)
27.92	32.72
27.77	32.73
29.92	32.80
31.42	33.30
32.20	33.67
32.88	33.91
33.36	34.22
33.89	34.45
34.51	34.58
34.96	34.88
35.33	35.07
<b>36.24</b>	<b>35.35</b>
35.08	35.02
34.57	34.80
34.26	34.89
34.00	34.96

Data diatas merupakan perbandingan data temperatur aquadest pada saat proses hidrolisa H<sub>2</sub>O menjadi H<sub>2</sub> menggunakan *hydrofill*. Dari hasil kajian yang dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa temperatur pada saat hidrolisa tidak memberikan pengaruh pada saat pengoperasian sel bahan bakar, walaupun terdapat perbedaan suhu maksimum pada saat hidrolisa, pengoperasian sel bahan bakar hanya bertahan ±30 menit. Setiap hidrolisa H<sub>2</sub>O mencapai suhu tertinggi antara 35-37°C.

Tabel 5. Tabel Temperatur Output Stack sel bahan bakar

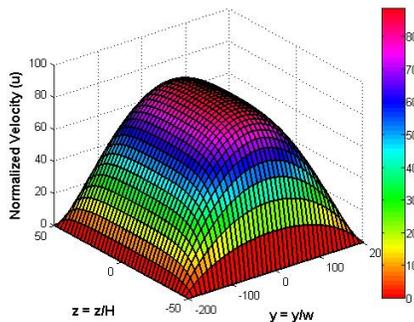
Temperatur Output Stack sel bahan bakar (26 Mei 2012 dalam °C)	Temperatur Output Stack sel bahan bakar (30 Mei 2012 dalam °C)
29.60	28.03
29.42	28.19
29.57	28.56
29.63	28.97
29.72	29.67
30.01	30.20
30.25	30.43
30.48	30.78
30.50	30.89
30.70	31.06
30.95	31.08
31.02	31.07
31.01	30.96
31.16	
31.30	
31.32	
31.39	
31.46	
31.60	
31.66	
31.64	
31.66	
31.76	
31.92	
31.83	
31.95	
31.95	
31.91	
32.01	
31.76	
31.91	
32.04	
32.17	
32.20	
32.28	
32.39	
32.46	
32.42	

Data diatas merupakan perbandingan temperatur output pada stack sel bahan bakar yang diambil masing - masing dengan *loop* 1 menit. Pada tanggal 26 Mei sel bahan bakar dapat beroperasi selama ±30 menit, namun pada tanggal 30 Mei sel bahan bakar hanya dapat beroperasi selama 12 menit. Ini menunjukkan bahwa temperatur pada saat proses hidrolisa tidak bergantung terhadap lamanya sel bahan bakar dapat beroperasi, akan tetapi lamanya sel bahan beroperasi lebih bergantung kepada tingkat kemurnian daripada hidrogen yang dihasilkan dari proses hidrolisa.

Dari hasil perhitungan yang dilakukan didapatkan bahwa tingkat efisiensi kipas yang terdapat pada sel bahan bakar adalah 0,579.

Dibutuhkan sebanyak 13 sel dengan masing - masing sel memiliki kapasitas sebesar 0,769V untuk mendapatkan sel bahan bakar dengan kapasitas 10V.

Untuk simulasi kecepatan aliran di dalam *microchannel* sel bahan bakar terlihat seperti gambar dibawah ini.



Gambar 9. Hasil grafik 3-D kecepatan di dalam *microchannel* yang didapatkan

Penurunan kapasitas yang dialami oleh sel bahan bakar diakibatkan oleh faktor - faktor antara lain proses pendistribusian elektron mengelilingi membran polimer yang membutuhkan waktu serta tingkat korosif daripada bahan - bahan di dalam sel bahan bakar akibat dari kurang murninya hidrogen hasil hidrolisa dari *hydrofill* yang digunakan sebagai bahan bakar.

## 5. Kesimpulan

Sel bahan bakar jenis PEM menggunakan hidrogen murni hasil hidrolisis  $H_2O$  sebagai bahan bakar. Saat dihubungkan ke sel bahan bakar  $H_2$  akan bergabung dengan  $O_2$  dan akan bereaksi menghasilkan daya listrik. Adapun  $H_2O$  sebagai penghasil  $H_2$  murni yang digunakan haruslah benar - benar murni dan hanya mengandung senyawa  $H_2O$  itu sendiri, hal ini dilakukan untuk menjaga tingkat performansi daripada sel bahan bakar dengan menjaga agar lapisan - lapisan di dalam sel bahan bakar itu sendiri tidak mengalami korosi akibat dari

kandungan zat - zat lain selain  $H_2$  yang diharapkan.

Banyaknya jumlah sel yang diinginkan agar dapat tercapai daya maksimal 20W / 10V adalah dengan menggunakan 13 sel (masing - masing sel menghasilkan tegangan sebesar 0,769V). Setiap sel tunggal secara teori menghasilkan tegangan sebesar  $\pm 1,2V$ . Akan tetapi dikarenakan beberapa faktor pada saat pengoperasian sel bahan bakar seperti pada saat mengalirnya elektron mengelilingi lapisan *Polymer Electrolyte Membrane* yang menghasilkan listrik, memberikan pengaruh terhadap besarnya tegangan yang dihasilkan oleh sel tunggal tersebut.

Tingkat efisiensi kipas yang terdapat pada sel bahan bakar pada saat udara  $0,02m^3/s$  mengalir melalui *stack* adalah sebesar 0,579.

Berdasarkan hasil kajian yang dilakukan, maka dengan menggunakan *software* MATLAB dengan laju aliran volumetrik  $2 \times 10^{-6}$  didapatkan simulasi yang menunjukkan bahwa aliran hidrogen yang terjadi di dalam *microchannel polymer electrolyte membrane fuel cell* merupakan aliran laminar penuh.

## Daftar Pustaka

- [1] Spiegel, Colleen. 2008. *PEM Fuel cell modeling and simulation using MATLAB*. Elsevier's Science & Technology Rights Department in Oxford, UK.
- [2] <http://berita-iptek.blogspot.com/2008/06/cara-kerja-fuel-cell.html>
- [3] [http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/fuelcells/fc\\_types.html](http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/fuelcells/fc_types.html)
- [4] Aravamudhan, Shyam. *Porous silicon based orientation independent, self-priming micro direct ethanol fuel cell*. BioMEMS and Microsystems Laboratory, Department of Electrical Engineering, Nanomaterials and Nanomanufacturing Research Center, University of South Florida, 4202 E. Fowler Ave, ENB 118, Tampa, FL 33620, USA