

KAJIAN TEGANGAN YANG DIBANGKITKAN DAN KONSUMSI HIDROGEN PADA SEL BAHAN BAKAR *POLYMER ELECTROLYTE MEMBRANE* KAPASITAS 20 W

Rezky Putra Pratama¹, Tekad Sitepu²

¹⁾ Mahasiswa Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

Jl. Almamater Kampus USU, Medan 20155

Email : rezky_boyz@yahoo.co.id

²⁾ Staf Pengajar Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

Jl. Almamater Kampus USU, Medan 20155

Email : tekadsitepu@gmail.com

ABSTRAK

Dunia sedang mengalami krisis energi karena bahan bakar minyak dan gas berkurang tajam akibat penggunaan secara besar-besaran oleh manusia. Sebelum terjadi krisis energi di dunia, harus dicari energi alternatif yang dapat diperbaharui. Salah satunya berupa sel bahan bakar (*fuel cell*). Fokus kajian ini adalah sel bahan bakar jenis *Polymer Electrolyte Membrane* (PEM) dengan bahan bakar Hidrogen. Hidrogen didapatkan dengan cara menghidrolisis air murni (*aquadest*) menjadi hidrogen dan oksigen. Tujuan kajian ini adalah untuk mengetahui besar potensial reversibel secara termodinamika dengan menggunakan suhu air, metode mol beserta suhu inlet dan outlet pada *stack*, mengetahui banyaknya Hidrogen yang di konsumsi, arus yang dihasilkan dan besarnya kehilangan voltase pada sel bahan bakar. Hasil pengujian di dapatkan bahwa besar potensial reversibel dengan menggunakan suhu air adalah sebesar 1,2197V per *cell*, konsumsi hydrogen sebesar 0,01229 mol dan didapatkan arus sebesar 0,6587A. Kesimpulan dari hasil pengujian menunjukkan semakin tinggi temperatur, maka semakin besar kehilangan voltase.

.Kata kunci : Hidrogen, *Fuel Cell*, PEM

Abstract

Nowadays earth is facing energy crisis because fuel and gas decrease sharply in case of large usage by human. Before it happens, alternative energy that reuseable should be developed. One of it was fuel cell. This study uses Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell with hydrogen as the fuel. Hydrogen can be obtained by pure water (aquadest) hydrolisis into hydrogen and oxygen. This study will provide the reversible potential by thermodynamics equation using water temperature, moles method, inlet and outlet temperature at stack, knowing the hydrogen consumed, current output and reversible voltage losses of the fuel cell. This study shows that reversible potential based on water temperature is 1,2197V per cell, hydrogen consumed is 0,01229 moles and current output is 0,6587A. the conclusion of this study shows the higher the water temperature, then the voltage losses will be increase.

Keywords : Hydrogen, Fuel cell, PEM

1. Pendahuluan

Pada negara berkembang, konsumsi energi yang cukup besar adalah untuk keperluan Bahan bakar dan listrik. Sebagian besar dari penggunaan energi untuk bahan bakar dan listrik adalah berasal dari bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil selain merupakan bahan bakar yang tidak

dapat diperbaharui, bahan bakar jenis ini juga mengakibatkan permasalahan lingkungan diantaranya menyebabkan pemanasan global, dan mengeluarkan gas beracun akibat pembakaran yang tidak sempurna.

Untuk membantu mengatasi permasalahan diatas, maka diperlukan suatu inovasi teknologi yang menggunakan tenaga yang dapat

diperbaharui (*renewable energy*) seperti penggunaan air menjadi listrik untuk keperluan bahan bakar dan listrik atau yang lebih dikenal dengan sel bahan bakar.

2. Sel bahan bakar

2.1 Sejarah sel bahan bakar

Di zaman modern seperti sekarang ini, listrik bukanlah hal yang baru lagi bagi kita. Energi multifungsi ini sangat berperan besar dalam kehidupan. Terutama untuk manusia. Bahkan mungkin, kita tidak akan bisa hidup walau sehari tanpa listrik. Sebaliknya, hal itu tidak berlaku pada zaman dulu, ketika listrik belum ditemukan. Penerangan di malam hari, saat itu sudah cukup dengan mengandalkan api. Beruntung kita hidup di zaman yang canggih seperti sekarang. Segala alat, sarana, dan prasarana penunjang dan pemanja hidup sudah lengkap tersedia.

Pada awalnya sel bahan bakar telah didemonstrasikan oleh Sir William Robert Grove (1811-1896), seorang ahli hukum Inggris yang merangkap sebagai seorang peneliti amatir, pada tahun 1839 dengan menggunakan pembalikan elektrolisa air, elektroda yang digunakan adalah platina. Dasar – dasar sel bahan bakar ditemukan secara tidak disengaja pada saat percobaan elektrolisa. Ketika Sir William melepaskan baterai dari *electrolyzer* dan menghubungkannya ke dua elektroda secara bersamaan, Sir William menemukan bahwa terdapat arus yang mengalir pada arah yang berlawanan, mengkonsumsi gas hidrogen dan oksigen [1].

Pada tahun 1842, Grove menyambungkan beberapa baterai gas bersama – sama dalam bentuk seri membentuk sebuah '*gas chain*'. Grove menggunakan listrik yang dihasilkan dari *gas chain* untuk menggerakkan sebuah *electrolyzer*, memisahkan air menjadi hidrogen dan oksigen.

Mulai tahun 1950 pihak NASA di Amerika Serikat telah melakukan pemanfaatan untuk program angkasa

luar mereka yaitu untuk pesawat roket Appolo dan Gemini. Pada tahun 1960-an, *International Fuel Cells* di Windsor, Connecticut mengembangkan *power plant* sel bahan bakar untuk pesawat luar angkasa Apollo.

Pada tahun 1970-an, *International Fuel Cells* mengembangkan sebuah sel bahan bakar alkaline yang lebih bertenaga untuk pesawat luar angkasa NASA (Orbiter).

Selama lebih dari 30 tahun, *US Department of Technology* telah melakukan banyak penelitian dan pengembangan dan pada tahun 1987 mereka mulai menerapkannya pada kendaraan.

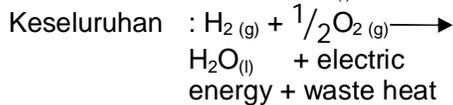
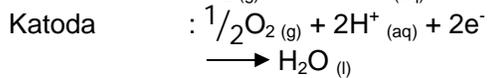
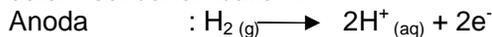
2.2 Prinsip dasar

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.

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 H₂ kontak dengan platinum pada katalis, molekul akan terpisah menjadi dua ion H⁺ dan dua elektron (e⁻). 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 (O₂) 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⁺ keluar dari membran PEM, lalu ion-ion ini bergabung dengan satu atom oksigen dan elektron-elektron dari luar sirkuit untuk membentuk molekul air (H₂O) [2].

Reaksi – reaksi yang terdapat di dalam sel bahan bakar :



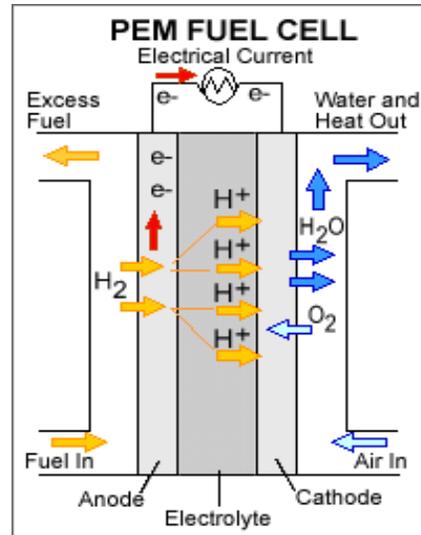
2.3 Jenis – Jenis Sel bahan bakar

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 [3]:

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

Dari tabel 1 dapat dilihat jenis daripada elektrolit untuk masing – masing sel bahan bakar dan operasi temperatur, karakteristik dan penggunaannya.

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 hydrogen, 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

Tabel 1. Jenis Sel bahan bakar dan karakteristik

Jenis	Elektrolit	Temperatur Operasi (°C)	Karakteristik	Penggunaan
<i>Polymer Exchange Membrane (PEM)</i>	Polimer elektrolit (H ⁺)	60 – 100	Kepadatan energi tinggi, memiliki kepekaan terhadap CO (<100ppm)	Kendaraan (sedan, bis, minivan), stasiun pembangkit panas
<i>Direct Methanol Fuel Cell (DMFC)</i>	Elektrolit polimer (H ⁺)	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 ₂	Pesawat ruang angkasa, kendaraan
<i>Phosphoric Acid Fuel</i>	<i>Phosphoric Acid</i>	160 –	Efisiensi energi	Stasiun pembangkit

Cell (PAFC)	(H ⁺)	200	terbatas, peka terhadap CO (<1,5% Vol)	kit panas, kendaraan
Molten Carbonate (MCFC)	Molten Carbonate (CO ₃ ²⁻)	500 – 650	Proble m korosi	Stasiun pembangkit energi panas, pembangkit energi listrik
Solid Oxyde (SOFC)	Lapisan keramik (O ²⁻)	800 – 1000	Efisiensi sistem tinggi, temperatur operasi perlu diturunkan	Pembangkit energi panas, penggabungan stasiun pembangkit dengan turbin gas

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 bakar lain pada umumnya[4].

Alkaline fuel cells adalah salah satu dari teknologi sel bahan bakar yang 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[4].

Phosphoric 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 bakar modern. PAFC lebih toleran terhadap ketidakmurnian daripada bahan bakar yang telah diubah menjadi hydrogen daripada Sel bahan bakar PEM[4].

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 bakar yang bekerja pada temperatur tinggi yang menggunakan elektrolit yang terdiri dari *molten carbonate salt mixture*, lithium aluminium oksida (LiAlO₂) [4].

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[4].

Regenerative Fuel Cell menghasilkan listrik dari hydrogen, oksigen, membangkitkan panas dan air sebagai bahan bakar, seperti sel bahan bakar lainnya. *Regenerative fuel cell* juga dapat menggunakan elektrolisa dari *solar power* atau sumber lainnya untuk membagi kelebihan air menjadi bahan bakar hydrogen dan oksigen. Sel bahan bakar jenis ini sedang dikembangkan oleh NASA dan perusahaan lainnya [5].

2.4 Komponen - komponen sel bahan bakar

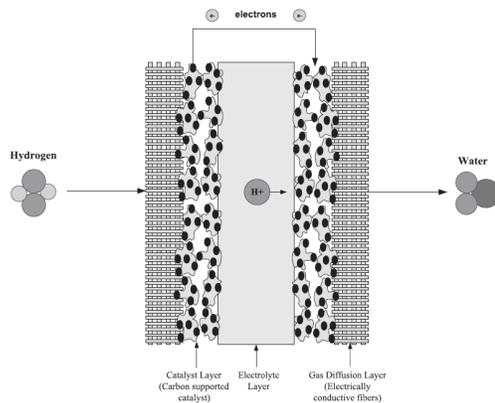
Adapun komponen – komponen dari sel bahan bakar dapat terlihat seperti pada gambar 2.

Tabel 2 menunjukkan komponen - komponen di dalam sel bahan bakar, beserta dengan kegunaan dan bahan yang bisa digunakan untuk memproduksi komponen tersebut[1].

Tabel 2. komponen dasar dari PEM Fuel Cell

Komponen	Kegunaan	Bahan yang biasa digunakan
<i>Polymer Electrolyte Membrane</i>	Memungkinkan proton daripada hydrogen 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	Platinum / carbon catalyst

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



Gambar 2. Komponen - komponen Sel bahan bakar

Beberapa keuntungan yang didapatkan dari penggunaan sel bahan bakar antara lain adalah[6]:

- Sel bahan bakar berpotensi untuk beroperasi pada tingkat efisiensi yang tinggi,
- Terdapat banyak alternatif untuk bahan bakar, dan metode pendistribusian bahan bakar ke dalam sel bahan bakar,
- Memiliki desain bentuk yang sangat presisi,
- Tidak menghasilkan polusi

- Tingkat perawatan yang cukup rendah karena sel bahan bakar tidak mempunyai bagian yang bergerak
- Tidak perlu diisi ulang, dan menghasilkan daya langsung setelah dialirkan bahan bakar.

Selain terdapat berbagai keuntungan dari sel bahan bakar ini, tentu saja juga terdapat beberapa kekurangan yang antara lain adalah[6] :

- Membutuhkan biaya yang cukup besar dikarenakan kebutuhan material dengan sifat – sifat tertentu. Namun saat ini sedang dikembangkan material yang membutuhkan biaya yang cukup kecil, termasuk didalamnya platinum dan Nafion,
- Reformasi teknologi bahan bakar membutuhkan biaya yang besar dan membutuhkan tenaga untuk menjalankan sel bahan bakar.
- Jika digunakan bahan bakar lain selain hidrogen untuk sel bahan bakar, maka performa dari sel bahan bakar akan berkurang seiring berjalannya waktu akibat dari korosi pada katalis dan sisa – sisa elektrolit.

2.5 Perubahan energi bebas dari reaksi kimia

Perubahan dari energi bebas yang terhubung dengan reaksi kimia menjadi energi listrik disebut perubahan energi elektrokimia. Perubahan energi bebas ini diukur pada kondisi maksimum dari kerja elektrik (W_{elec}) yang dapat dihasilkan oleh sebuah sistem pada temperatur konstan dan tekanan dari reaksi. Pernyataan ini disampaikan dengan perubahan negatif dalam perubahan energi bebas Gibbs (ΔG) untuk prosesnya, dan dapat ditunjukkan dengan persamaan [1]:

$$W_{elec} = -\Delta G \tag{1}$$

Energi bebas Gibbs adalah energi yang dibutuhkan oleh sebuah sistem

pada temperatur konstan dengan volume yang dapat diabaikan, dikurangi dengan energi yang dibuang ke lingkungan akibat dari perubahan panas yang terus menerus. Persamaan diatas dapat digunakan pada kondisi temperatur dan tekanan yang konstan untuk kebanyakan sel bahan bakar. Dari hukum kedua termodinamika, perubahan pada energi bebas, atau kerja maksimum, dapat dicapai ketika sel bahan bakar dengan sempurna bekerja pada kondisi satu arah yang bergantung pada temperatur. Maka W_{elec} , energi listrik yang dihasilkan adalah [1] :

$$W_{elec} = \Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (2)$$

Dimana:

G = energi bebas Gibbs.

H = enthalpy dari perubahan.

T = temperatur absolute.

S = entropi.

Energi bebas Gibbs akan sama dengan enthalpy apabila perubahan dari entropi adalah nol. Energi potensial dari sebuah sistem untuk menghasilkan kerja elektrik dari sebuah beban, Q (coulombs), melalui sebuah perbedaan energi potensial listrik, E (Volts), adalah $W_{elec} = EQ$ dengan $Q = nF$, dimana n adalah jumlah mol elektron yang dipindahkan dan F adalah konstanta Faraday (96,485 coulomb/mol elektron), maka dengan mensubstitusikan 3 persamaan terakhir diatas maka [1]:

$$\Delta G = -nFE_r \quad (3)$$

Dimana:

n = jumlah mol elektron yang dialirkan per mol dari bahan bakar yang dikonsumsi.

F = konstanta Faraday.

E_r = energi potensial standard reversible.

Hubungan antara tegangan dan temperatur diperoleh dari energi bebas, mengukur pada kondisi standar 25°C, dan mengasumsikan perubahan enthalpy ΔH tidak berubah terhadap temperature [1]:

$$E_r = -\frac{\Delta G_{rxn}}{nF} = -\frac{\Delta H - T\Delta S}{nF} \quad (4)$$

$$\Delta E_r = \left(\frac{dE}{dT}\right)(T - 25) = \frac{\Delta S}{nF}(T - 25) \quad (5)$$

Dimana:

E_r = tegangan standar pada kondisi reversible.

ΔG_{rxn} = standar dari perubahan energi bebas untuk reaksi.

2.6 Charge Transfer

Kecepatan dari reaksi elektrokimia untuk dilanjutkan tergantung pada tingkat elektron diciptakan atau dikonsumsi. Oleh karena itu, arus adalah ukuran langsung dari laju reaksi elektrokimia. Dari hukum Faraday, laju perpindahan muatan adalah [1]:

$$i = \frac{dQ}{dt} \quad (6)$$

Dimana:

Q = muatan,

t = waktu

Jika setiap hasil reaksi elektrokimia dalam transfer elektron n per unit waktu, maka [1]:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{i}{nF} \quad (7)$$

Dimana:

dN/dt = laju reaksi elektrokimia (mol/s)

F = Faraday's constant (96,400 C/mol)

Mengintegrasikan persamaan ini memberikan [1]:

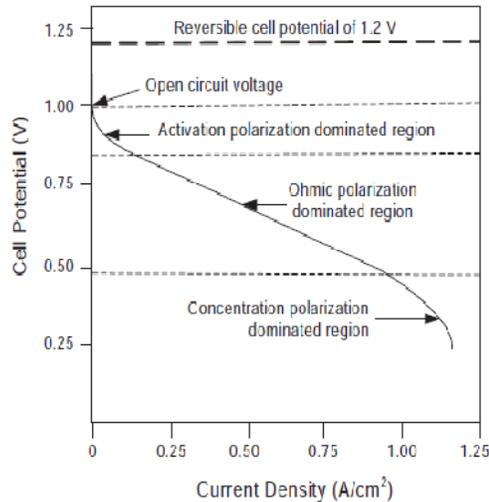
$$\int_0^t i dt = Q = nFN \quad (8)$$

Persamaan diatas menyatakan bahwa jumlah total listrik yang dihasilkan sebanding dengan jumlah mol dengan jumlah elektron konstan Faraday.

2.7 Kehilangan voltase (kerugian aktivasi)

Kehilangan voltase yang sering terjadi di dalam sel bahan bakar diilustrasikan pada gambar 3. Sel bahan bakar tunggal menghasilkan

voltase bergantung pada kondisi operasi seperti temperatur, beban yang diberikan, dan laju aliran massa bahan bakar / oksidan. Sebagaimana pertama ditunjukkan pada perhitungan standard dari performa sistem sel bahan bakar adalah kurva polarisasi, yang mewakili sifat tegangan sel dibandingkan dengan berat jenis daya.



Gambar 3. Kurva Polarisasi Pada Sel Bahan Bakar

Tegangan aktual dari sebuah sel bahan bakar lebih rendah daripada model secara teoritis karena penyilangan benda dari satu elektroda melalui elektrolit dan daya internal. Tiga klasifikasi utama dari kehilangan yang menghasilkan dari jatuhnya tegangan sirkuit terbuka adalah

1. polarisasi aktivasi
2. polarisasi ohmic
3. polarisasi konsentrasi

Persamaan dari kurva polarisasi sel bahan bakar dalam hubungannya dengan potensial fuel cell dan berat jenis daya, ditulis sebagai [1]:

$$E = E_r - \frac{RT}{\alpha_c F} \ln\left(\frac{i}{i_{0,c}}\right) - \frac{RT}{\alpha_a F} \ln\left(\frac{i}{i_{0,a}}\right) - \frac{RT}{nF} \ln\left(\frac{i_{L,c}}{i_{L,c}-i}\right) - \frac{RT}{nF} \ln\left(\frac{i_{L,a}}{i_{L,a}-i}\right) - iR_i \quad (9)$$

Persamaan yang lebih pendek adalah [1]:

$$E = E_r - \frac{RT}{\alpha F} \ln\left(\frac{i+i_{loss}}{i_0}\right) - \frac{RT}{nF} \ln\left(\frac{i_L}{i_L-i}\right) - iR_i \quad (10)$$

Overpotential tegangan dibutuhkan untuk mendapatkan batasan energi untuk reaksi elektrokimia yang terjadi adalah polarisasi aktivasi. Sebagaimana disebutkan sebelumnya tipe dari kehilangan dominasi polarisasi pada berat jenis daya yang lebih rendah dan mengukur efektivitas katalis pada temperatur yang diketahui. Tipe dari kehilangan tegangan ini kompleks karena bergantung pada bahan bakar gas, katalis logam padat, dan elektrolit. Katalis mengurangi tinggi dari tahanan aktivasi, tetapi kehilangan tegangan bergantung terhadap reaksi oksigen yang pelan. Total polarisasi aktivasi sering berada pada 0,1 - 0,2V, yang mana mengurangi potensial maksimum menjadi kurang dari 1V walaupun berada di bawa kondisi sirkuit terbuka. Ekspresi *Overpotential aktivasi dapat didapatkan dari persamaan Butler - Volmer*. *Overpotential aktivasi ditambah dari berat jenis daya dan dapat ditulis [1]:*

$$\Delta V_{act} = E_r - E = \frac{RT}{\alpha F} \ln\left(\frac{i}{i_0}\right) \quad (11)$$

Dimana:

i = kerapatan arus, dan

*i*₀ = perubahan reaksi pada kerapatan arus.

Kehilangan aktivasi dapat juga dituliskan secara singkat sebagai persamaan Tafel [1]:

$$\Delta V_{act} = a + b \ln(i) \quad (12)$$

Dimana:

$$a = -\frac{RT}{\alpha F} \ln(i_0) \text{ dan } b = -\frac{RT}{\alpha F} \quad (13)$$

Persamaan untuk anoda dan katoda dapat dituliskan sebagai [1]:

$$v_{act_anode} + v_{act_cath} = \frac{RT}{nF\alpha} \ln\left(\frac{i}{i_0}\right)_{anode} + \frac{RT}{nF\alpha} \ln\left(\frac{i}{i_0}\right)_{cath} \quad (14)$$

Dimana:

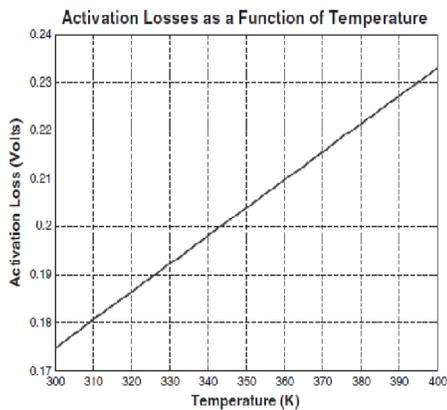
n = jumlah proton per mol reaktan,

F = konstanta Faraday, dan

α = koefisien perpindahan daya yang digunakan untuk mendeskripsikan jumlah dari energi listrik yang

diaplikasikan untuk mengubah nilai dari reaksi elektrokimia.

Perubahan pada kerapatan arus, i_0 , adalah aktivitas elektroda untuk reaksi pada kondisi setimbang. Dalam sel bahan bakar PEM, anoda i_0 , untuk oksidasi hidrogen sangat tinggi dibandingkan untuk katoda i_0 , untuk pengurangan oksigen, oleh karena itu kontribusi katoda terhadap polarisasi ini sering berubah. Secara tidak langsung, kelihatannya polarisasi aktivasi bertambah secara linear dengan temperatur berdasarkan persamaan diatas, tetapi tujuan dari peningkatan temperatur untuk mengurangi polarisasi aktivasi. Pada gambar 4, peningkatan dari temperatur dapat mengakibatkan penurunan tegangan pada area polarisasi aktivasi.



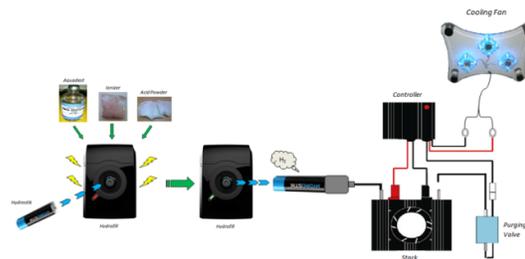
Gambar 4. Grafik Activation Losses Pada Pengaruh Temperatur

3. Experimental Setup

Pengujian ini dimulai dengan melakukan pemisahan molekul H_2O dari aquadest menjadi H_2 dan O_2 . kemudian H_2 tersebut diisi ke dalam tabung pengisian *Hydrostick*. Pada saat pemisahan molekul H_2O 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 *Hydrostick* penuh diisi dengan H_2 maka flash disk

dicabut dan kemudian dibaca menggunakan microsoft excel.

Setelah pengisian *Hydrostick* penuh, maka kemudian flash disk dihubungkan kembali ke Agilent untuk pembacaan pada saat *hydrostick* dihubungkan ke *stack* dan menghasilkan listrik. Kabel – kabel *termocouple* dihubungkan pada permukaan *hydrostick*, lubang input dan lubang output yang terdapat pada *stack fuel cell*. Setelah *fuel cell* beroperasi secara penuh dan hidrogen yang terdapat di dalam *hydrostick* habis, flash disk dicabut dan dibaca menggunakan excel untuk mengetahui temperatur pada kondisi saat pengoperasian.



Gambar 5. Experimental Setup

4. Hasil dan Pembahasan

Tegangan Reversible yang di hasilkan berdasarkan rumus termodinamika dengan prinsip suhu air pada suhu $35,94\text{ }^{\circ}C$ adalah $1,2197\text{ V}$, prinsip mol adalah $1,21\text{ V}$.

Banyaknya hidrogen yang dikonsumsi adalah $0,01229\text{ mol}_H_2$ dan arus yang dihasilkan adalah $0,6587\text{ A}$

Hidrogen didapatkan dengan cara menghidrolisis air murni (*aquadest*) menjadi hidrogen dan oksigen.

Semakin tinggi temperatur, maka semakin besar kehilangan voltase atau kerugian aktivasi.

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://berita-iptek.blogspot.com/2008/06/jenis-jenis-fuel-cells.html>
- [4] Rayment, Christ and Scott Sherwin. 2003. *Introduction to Fuel Cell Technology*. Notre Dame
- [5] http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/fuelcells/fc_types.html
- [6] Cook, Brian. 2001. *An Introduction to Fuel Cells and Hydrogen Technology*. Canada