

POLYMER ELECTROLYTE MEMBRANE FUELCELL DAN PEMBAHASAN UMPAN HIDROGEN

Mohamad Youvial

Balai Besar Teknologi Energi - BPPT, PUSPIPTEK, Cisauk-Tangerang 15314, Indonesia

Abstrak

Teknologi masa depan yang berpotensi sebagai sistem penyedia daya adalah fuelcell. Teknologi fuelcell yang mengkonversikan energi kimia menjadi energi listrik secara elektrokimia menghasilkan emisi yang rendah serta efisiensi yang relatif tinggi. Namun penggunaan fuelcell secara massal dan komersial masih membutuhkan waktu. Terdapat beberapa jenis fuelcell. Fuelcell jenis Polymer Electrolyte Membrane yang beroperasi pada suhu rendah merupakan suatu pilihan sistem penyediaan tenaga untuk kendaraan dan pembangkit listrik skala kecil. Tulisan ini menguraikan sistem Polymer Electrolyte Membrane FuelCell yang terkait dengan analisa umpan hidrogen dan keekonomiannya.

Kata Kunci : Polymer Electrolyte Membrane Fuelcell, hidrogen.

Abstract

The future technology which has the potention to replace the current power supply system is fuel cell. Fuel cell technology which electrochemically and directly converts chemical energy into electrical energy emits the very low pollutants and gives relatively high efficiency due to its simplicity. However, the massive commercial application of fuel cell still needs times before its commencement. There are some types of fuel cell. The Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell operated at low temperature is an option of power supply system for vehicle and small scale power plant. This paper describes Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell connected to hydrogen as an input and its economical value.

Keywords : polymer electrolyte membrane fuel cell, hydrogen.

1. PENDAHULUAN

Fuelcell adalah alat elektrokimia yang mengkonversi energi reaksi kimia secara langsung menjadi energi listrik arus searah (Fuel Cell Handbook, 2000). Ia terdiri dari lapisan elektrolit yang berkontak dengan anoda dan katoda berpori. Berbeda dengan baterai yang sudah lama dikenal, fuelcell bukanlah alat penyimpan energi seperti baterai. Fuelcell mengkonversi energi reaksi elektrokimia menjadi energi listrik. Selama bahan bakar diumpankan ke dalam fuelcell maka ia akan tetap menghasilkan arus listrik.

Fuelcell sebagai suatu pilihan penyedia daya masa depan menjanjikan manfaat yang tak diperoleh dari sistem penyedia energi lain. Sistem fuelcell memberikan efisiensi yang relatif tinggi karena perubahan energi kimia secara langsung menjadi listrik tanpa harus dibatasi oleh siklus Carnot. Tingkat kebisingannya jauh lebih rendah daripada yang dihasilkan teknologi penyediaan daya lainnya yang ada saat ini. Hal ini disebabkan karena tidak ada bagian fuelcell yang bergerak dalam pembangkitan listrik.

Kita ketahui bahwa energi dari bahan bakar fosil seperti minyak bumi menimbulkan banyak persoalan bagi manusia yaitu polusi SO_2 , NO_x , dan abu dan efek rumah kaca. Emisi CO_2 dan asap knalpot kendaraan berbentuk jelaga karbon.

Oleh karena itu, fuelcell merupakan suatu sistem teknologi energi yang dampak negatifnya lebih kecil daripada sistem pembakaran bahan bakar fosil.

Berbagai jenis fuelcell diklasifikasikan menurut temperatur operasinya dan menurut jenis material elektrolitnya (Wallmark, 2004; Jari Ihonen, 2003), yaitu:

- elektrolit polimer (PEMFC= Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell),
- karbonat leleh (MCFC = Molten Carbonate Fuel Cell),
- oksida padat (SOFC = Solid Oxide Fuel Cell),
- asam fosfat (PAFC = Phosphoric Acid Fuel Cell),
- alkali (AFC = Alkaline Fuel Cell).

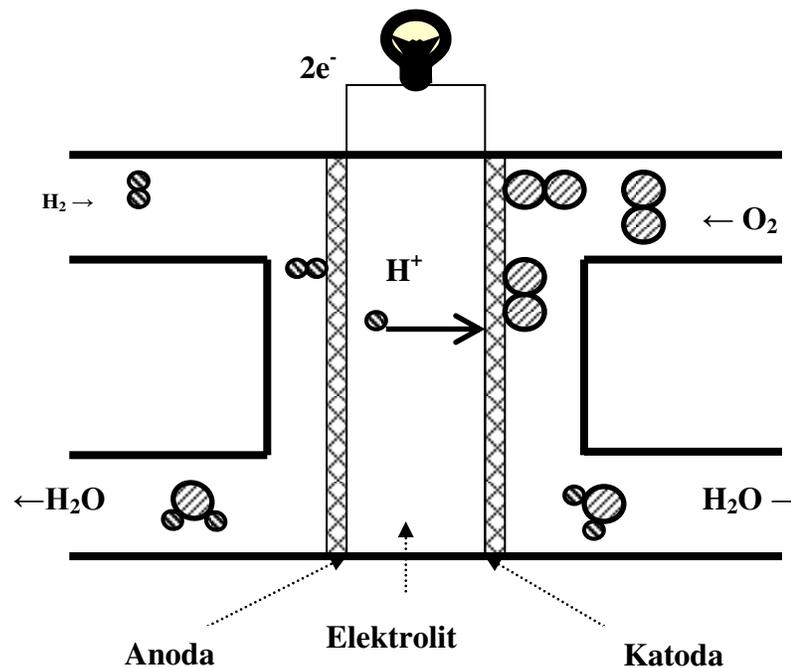
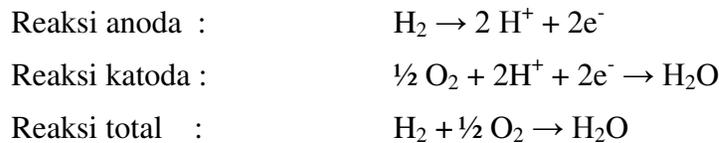
Fuelcell jenis Polymer Electrolyte Membrane (PEMFC) yang beroperasi pada suhu rendah merupakan suatu pilihan bagi penyediaan tenaga untuk kendaraan dan pembangkit listrik skala kecil. Kelebihannya adalah dalam menghasilkan densitas daya listrik yang tinggi, relatif murah, volume yang kecil, sensitivitasnya yang rendah terhadap orientasi, dan tidak ada potensi bahaya korosif dari fluida yang digunakan. Temperatur yang rendah memberikan respons yang cepat dalam perubahan beban daya. Namun PEMFC membutuhkan katalis platinum yang mahal.

2. KOMPONEN UTAMA SISTEM FUELCELL PEMFC

Kelebihan sistem PEMFC adalah emisi polutan yang rendah karena hanya air yang menjadi gas buang utama. Dengan makin meningkatnya konsumsi energi dunia yang berarti meningkatnya penggunaan bahan bakar fosil yang menimbulkan dampak efek rumah kaca, pemanasan global, polusi hingga perubahan iklim, akibat penghamburan karbon ke atmosfer dalam bentuk gas CO_2 , teknologi penyediaan daya listrik yang lebih baik dibutuhkan untuk menjaga kelangsungan kehidupan umat manusia. Namun, emisi panas dari fuelcell diperkirakan dapat mencapai 40 – 50 % (Bockris, J.O.M. (1977), *Energy : The Solar Hydrogen Alternative*) yang dapat digunakan untuk pemanas ruangan atau pemanasan air atau pembangkitan uap air untuk sistem *cogeneration* pada fuelcell temperatur tinggi .

Bahan bakar PEMFC, yaitu hidrogen, dapat diperoleh dari pemecahan air dengan bantuan energi matahari. Teknologi energi ini akan merupakan alternatif yang beralasan ketika semua sumber daya energi fosil sudah amat menipis. Hidrogen saat ini diperoleh dari reformasi atau gasifikasi bahan bakar fosil seperti gas alam atau batubara yang saat ini dipertimbangkan ekonomis. Penggunaan biomassa sebagai sumber hidrogen juga dapat turut memainkan peranan penting karena biomassa merupakan sumber energi netral yang berkelanjutan dalam arti sebagai alternatif sumber bahan bakar dan program konservasi

energi. Gambar 1 memperlihatkan skematik sistem PEMFC. Dapat dilihat pada anoda terjadi reaksi pelepasan elektron oleh hidrogen, yang mengalir secara kontinu ke anoda dari tanki penyimpan gas hidrogen bertekanan atau tanki hidrida logam, membentuk proton yang lalu dibawa melalui elektrolit menuju katoda, dan elektron yang diproduksi mengalir melalui beban listrik ke katoda. Proton dan elektron yang mengalir melalui jalan terpisah tersebut kemudian pada katoda mereduksi oksigen (yang berasal dari tanki oksigen murni atau udara) membentuk air. Reaksi yang terjadi pada anoda dan katoda tersebut dapat dituliskan sebagai berikut :



Gambar 1. Skema sistem Polymer Electrolite Membrane Fuelcell.

Kinerja fuelcell diperhatikan dari voltase sel. Secara teoritis kinerja ideal ditunjukkan oleh Nernst berdasarkan reaksi pada anoda dan katoda. Persamaan potensial Nernst untuk PEMFC adalah :

$$E = E^o + (RT / 2F) \left[\ln \left(\frac{P_{H_2}}{P_{H_2O}} \right) + \ln \left(\sqrt{P_{O_2}} \right) \right] \quad (1)$$

dimana:

- E = potensial kesetimbangan
- E° = potensial standard ideal (1 atmosfer, 25°C)
- R = konstanta gas
- T = temperatur
- F = konstanta Faraday (96487 coulomb/mol electron)
- P_{H_2} = tekanan parsial gas H_2
- P_{H_2O} = tekanan parsial uap air
- P_{O_2} = tekanan parsial gas O_2

Dari persamaan di atas terlihatlah bahwa pada temperatur tertentu kinerja sel akan membaik dengan meningkatnya tekanan parsial reaktan H_2 dan O_2 .

Terdapat rugi-rugi penurunan voltase pada masing-masing elektroda anoda dan katoda yang disebut polarisasi atau over potensial atau over voltase sehingga voltase sel kurang dari voltase idealnya. Polarisasi disebabkan oleh tiga sumber :

- polarisasi aktivasi,
- polarisasi ohmik dan
- polarisasi konsentrasi.

Polarisasi aktivasi mendominasi pada arus rendah karena harus mengatasi hambatan elektronik pada elektroda. Polarisasi konsentrasi berlangsung ketika arus besar karena makin sulitnya reaktan menuju ke lokasi reaksi pada elektroda. Polarisasi ohmik meningkat seiring dengan peningkatan arus karena resistansi sel tidak berubah (Fuel Cell Handbook, 2000). Voltase sel sesungguhnya merupakan penjumlahan potensial anoda dan katoda serta polarisasi ohmik, sebagai berikut :

$$V_{sel} = \Delta E - \eta_{anoda} - \eta_{katoda} - iR \tag{2}$$

ΔE adalah $E_{katoda} - E_{anoda}$,

iR adalah polarisasi ohmik

η adalah penjumlahan polarisasi aktivasi dan polarisasi konsentrasi untuk anoda dan katoda. Jadi

$$\eta_{anoda} = \eta_{akt,a} + \eta_{kons,a}$$

$$\eta_{katoda} = \eta_{akt,k} + \eta_{kons,k}$$

Relasi polarisasi aktivasi dengan arus dinyatakan pada persamaan (3), yaitu :

$$\eta_{akt} = \frac{RT}{\alpha nF} \ln \left(\frac{i}{i_o} \right) \tag{3}$$

dimana: α adalah koefisien perpindahan elektron,
 n adalah jumlah elektron yang terlibat dalam reaksi dan
 i_0 adalah exchange current density.

Persamaan (3) juga dapat dinyatakan dengan persamaan berikut ini

$$\eta_{akt} = a + b \log i \quad (4)$$

dimana: $a = (-2,3RT/\alpha nF) \log i_0$
 $b = 2,3RT/\alpha nF$.

Relasi polarisasi konsentrasi dengan arus dinyatakan dengan persamaan dibawah ini.

$$\eta_{kons} = \frac{RT}{nF} \ln \left(1 - \frac{i}{i_L} \right) \quad (5)$$

i_L adalah arus pembatas yang merupakan ukuran laju maksimum reaktan yang dapat dipasok ke elektroda.

Selain ketiga jenis polarisasi tersebut, terdapat pula penyebab *irreversibilitas* (tidak dapat kembali pada jalur awalnya) pada fuelcell yang disebut dengan '*fuel crossover*' dan penyebab lainnya adalah '*internal currents*'. Irreversibilitas ini disebabkan oleh hidrogen yang menerobos melalui elektrolit atau dapat juga dipandang sebagai elektron yang melintasi elektrolit bersama proton dari anoda menuju katoda. Walaupun biasanya sangat kecil, namun efeknya pada fuelcell PEMFC yang beroperasi pada temperatur rendah dapat terlihat pada tegangan sirkuit terbuka.

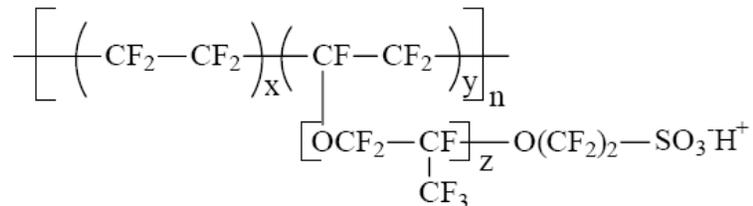
Pada setiap persamaan di atas, arus dalam ditambahkan pada arus yang terukur, i .

Kinerja fuelcell juga dilihat dari efisiensinya. Secara teoritis efisiensi sistem elektrokimia idealnya merupakan perbandingan antara energi bebas dengan energi kimia. Untuk reaksi hidrogen dan oksigen dengan pembentukan air pada PEMFC, efisiensi termal idealnya adalah sekitar 0,83. Pada kenyataannya efisiensi selalu lebih rendah daripada efisiensi ideal karena rugi-rugi yang berhubungan dengan ketiga polarisasi di atas. Efisiensi termal fuelcell yang beroperasi pada V_{sel} berdasarkan nilai kalor hidrogen dengan produk air diberikan oleh persamaan berikut ini:

$$\eta = 0,675V_{sel} \quad (6)$$

2.2. Pengembangan Membran PEMFC

Material elektrolit standard yang saat ini digunakan pada PEMFC ialah material berbasis perfluorosulfonic acid ionomer atau disingkat PFSI, seperti Nafion® produk Du Pont, Flemion® produk Asahi Glass and Aciplex® buatan Asahi Chemical. Struktur kimiawi Nafion ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur kimiawi Nafion (Jari Ihonen, 2003).

Pengembangan PEMFC pada prinsipnya adalah dengan mengembangkan *Membrane Electrode Assembly (MEA)* dan disain elektroda serta penanganan CO dalam aliran umpan bahan bakar hidrogen (Fuel Cell Handbook, 2000).

Faktor kritis bagi membran untuk penghantaran proton (H^+) antara lain adalah konduktivitas proton, resistansi rendah, impermeabilitas terhadap reaktan H_2 dan O_2 , transport H_2O dengan drag elektro-osmotik, integritas mekanis, kestabilan mekanis, kestabilan kimia, kestabilan termal dan harga (Fuel Cell Handbook, 2000; Kenton B.Wiles, 2005; Jari Ihonen, 2003). Seringkali membran yang bagus konduktivitas protonnya mempunyai sifat-sifat mekanis yang buruk karena dalam lingkungan lembab pemekaran (*swelling*) polimer membran menjadi tinggi. Untuk mengatasi hal ini membran penghantar ion diperkuat dengan polimer yang tidak mekar tetapi cocok dengan material polimer membran (Kenton B.Wiles, 2005). Perusahaan Dow Chemical Company juga telah memproduksi membran elektrolit, XUS 13204.10, dengan resistansi listrik yang rendah dan mampu mencapai densitas arus yang lebih tinggi daripada membran Nafion, namun harganya masih terlalu tinggi (Fuel Cell Handbook, 2000). Penelitian terus berlangsung untuk mendapatkan alternatif material yang lebih baik dengan menggunakan trifluorostyrene.

2.3. Elektroda

Elektroda dicetak berupa lapisan tipis yang menempel ke membran. Material utama elektroda adalah platinum. Untuk memperbaiki utilisasi platinum, polimer ditambahkan ke struktur dasar karbon sehingga meningkatkan permukaan antara elektrokatalis dengan elektrolit polimer. Jumlah platinum dengan struktur dasar karbon yang berbentuk lapisan tipis dapat mencapai serendah $0,1 \text{ mg}/\text{cm}^2$. Performansinya yang lebih baik daripada platinum tanpa struktur dasar karbon (G.J.K. Acres et al., 1997).

2.4. Penyediaan Bahan Bakar Hidrogen Untuk PEMFC

Penyediaan bahan bakar bagi PEMFC yaitu hidrogen, secara ekonomis saat ini diperoleh dari reaksi reformasi atau gasifikasi. Proses ini menghasilkan gas CO, CO₂ dan hidrokarbon yang merupakan pengotor utama PEMFC. Permukaan katalis platinum menyerap CO lebih mudah dibandingkan dengan platinum menyerap hidrogen, sehingga CO dapat menghambat aliran hidrogen ke katalis untuk bereaksi. Sementara CO₂, walaupun tidak separah CO, mempengaruhi performansi anoda melalui reaksinya dengan hidrida yang teradsorpsi pada katalis platinum.

Pembersihan bahan bakar hidrogen yang biasa diperoleh dari reaksi reformasi dilakukan dengan proses “pressure swing adsorption” atau pemisahan dengan membran atau metanasi atau oksidasi selektif. Pemisahan dengan membran memberikan produk hidrogen terbaik bagi PEMFC. Penyediaan bahan bakar hidrogen dengan metoda lain juga dilakukan seperti elektrolisa air, fotokimia dan produksi hidrogen dengan mikrobiologi.

3. HIDROGEN SEBAGAI UMPAN PEMFC DAN NILAI KEEKONOMIANNYA

Mungkin tidak banyak yang menyanggah bahwa dunia memasuki era peningkatan persaingan dalam memperoleh sumber bahan bakar fosil yang tersisa, khususnya petroleum dan gas alam (Dickson M.E., et al., 1977). Berkurangnya sumber mineral/bijih logam yang kerapatan energinya tinggi memaksa manusia menambang mineral/bijih logam yang berkualitas lebih rendah dan pada kondisi ekonomi saat ini penambangannya dari alam dilakukan secara besar-besaran sehingga biaya reklamasi lahan tambang menjadi mahal. Disisi lain, konsumsi energi terus meningkat akibat peningkatan populasi. Oleh sebab itu amatlah perlu mengembangkan pemanfaatan teknologi yang mampu mengeksplorasi sumber energi non-konvensional.

Hidrogen sebagai medium pembawa energi merupakan salah satu pilihan bagi sistem teknologi energi yang memanfaatkan hidrogen. Namun keekonomiannya masih perlu banyak pengkajian untuk mempertimbangkan kelayakannya. Dalam sistem pemanfaat hidrogen, hidrogen berperan sebagai medium pembawa energi (*vektor energi*) dan bukan sumber energi primer, karena hidrogen bukanlah senyawa yang mandiri bebas di alam. Untuk memperolehnya dibutuhkan energi guna melepaskan ikatan antara atom hidrogen dengan unsur lain misalnya air atau senyawa lain seperti metan dan sebagainya dapat diperoleh dari sumber energi primer antara lain adalah:

- Energi radiasi matahari
- Energi kimia bahan bakar fosil
- Energi kinetik angin
- Energi panas bumi
- Energi potensial air
- Energi kimia biomassa

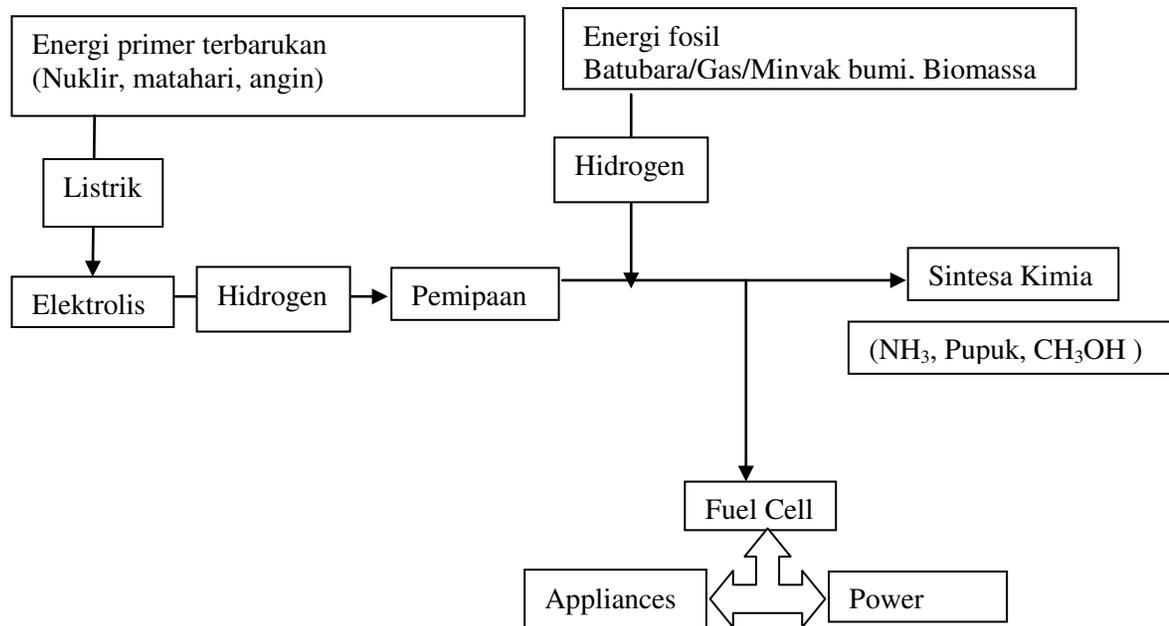
Namun tingkat keekonomiannya untuk digunakan dalam proses melepas ikatan atom hidrogen akan sesuai tingkat kesulitan dalam memanfaatkan energi primer tersebut.

Emisi dari sistem teknologi energi yang memanfaatkan hidrogen sebagai umpan, seperti misalnya fuelcell, akan berupa air yang tidak menimbulkan polusi. Hidrogen dapat disebut bahan bakar ideal karena memenuhi persyaratan berikut :

- a. Berlimpah dan mudah diekstraksi dari alam
- b. Bisa dimampatkan sehingga mudah disimpan atau ditransportasikan
- c. Banyak kemungkinan penerapannya
- d. Padat energi bila dia disimpan dalam tanki logam hidrida (*metal hydride*)

3.1. Keekonomian Hidrogen

Aspek penting dalam penggunaan hidrogen sebagai bahan bakar adalah karena kedekatan hubungannya dengan listrik, yang merupakan bentuk energi yang sudah mapan dan cara pembangunan infrastrukturnya diketahui secara luas. Diagram skema sistem pemanfaat hidrogen, diberikan dalam Gambar 3. Hidrogen dapat digunakan untuk membangkitkan listrik melalui proses reaksi kimia dalam sistim fuelcell. Selain itu hidrogen mudah diperoleh dari air melalui elektrolisa.



Gambar 3. Diagram skema sistem pemanfaat hidrogen.

Target evaluasi keekonomian hidrogen adalah untuk:

- Meningkatkan energi per kapita menjadi 10 kW/orang bagi semua strata masyarakat tanpa menimbulkan situasi polusi yang parah (Bockris, J.O.M., 1977).
- Meningkatkan efisiensi energi dengan mengeliminasi rugi-rugi siklus Carnot antara sumber energi hingga kerja mekanis

Konsep evaluasi keekonomian hidrogen sebagai medium pembawa energi bermula dari adanya keinginan untuk mentransmisikan energi untuk jarak jauh. Ada tiga metoda yang dipertimbangkan untuk transportasi energi yang jaraknya lebih dari 500 mil.

1. Transmisi listrik langsung dengan tegangan tinggi, namun kesulitannya adalah:
 - Rugi-rugi energi pada kabel tembaga sepanjang 3000 mil dengan tegangan 600 kV ialah sebesar 55%.
 - Penggunaan kabel superkonduksi belum mampu mengatasi teknik penyambungan dengan kabel bukan-superkonduksi.
2. Transmisi energi dengan radiasi gelombang mikro.
3. Transmisi hidrogen dalam tabung untuk diumpankan pada sistem fuelcell

Dickson M.E., et al. (1977) menyimpulkan keekonomian hidrogen sebagai berikut:

- Konsep hidrogen/elektrik dipertimbangkan layak secara teknis untuk keekonomian energi masa depan, karena hidrogen dapat menggantikan petroleum atau gas alam pada hampir semua bidang penerapannya.
- Sifat fisis hidrogen yang hanya berupa cairan pada temperatur *cryogenic*, kerapatan energi yang rendah, ringan dan mudah terbakar membuatnya kurang menarik daripada bahan bakar konvensional yang umum digunakan saat ini.
- Investasi yang padat modal dalam produksi, distribusi dan penyimpanan hidrogen merupakan hambatan terbesar dalam upaya mendapatkan perubahan cepat menuju keekonomian hidrogen.
- Hidrogen mungkin merupakan bahan bakar alternatif yang superior bagi transportasi udara.

3.2. Keraguan terhadap penggunaan hidrogen sebagai medium pembawa energi.

1. Produksi hidrogen mahal.
Dengan kemajuan dan perkembangan teknologi ongkos produksi hidrogen akan semakin murah dan dapat bersaing dengan bahan bakar fosil yang harganya cenderung terus meningkat.
2. Hidrogen berbahaya.
Pengembangan teknologi dalam menjinakkan/menangani hidrogen dibutuhkan pengalaman dan prosedur baku.
3. Kesulitan memakai hidrogen sebagai bahan bakar pada alat transportasi adalah tanki untuk menyimpan hidrogen cair pada tekanan yang sangat tinggi akan berukuran besar dan berat untuk membuatnya tahan terhadap tekanan tinggi. Namun untuk mengatasi hal ini ada teknologi *metal hydride* yang bisa dikembangkan dan diteliti.

3.3. Aspek material

Ada dua permasalahan yang perlu ditangani melalui penelitian dan pengembangan, yaitu:

1. *Hydrogen Embrittlement*
 - a. *Embrittlement* akibat lingkungan hidrogen
 - b. *Embrittlement* akibat *internal reversible* hidrogen
 - c. *Embrittlement* akibat reaksi hidrogen
2. *Stress Corrosion*

3.4. Aspek keamanan pada penggunaan hidrogen

Aspek keamanan penggunaan hidrogen juga sangat penting bagi masyarakat yang ingin memanfaatkan teknologi fuel cell. Untuk menangani hidrogen, dalam Table 1 diberikan sifat-sifat hidrogen dan gas metana untuk dibandingkan.

Tabel 1. Karakteristik Hidrogen dan Metana.

	Hidrogen	Metana
Berat molekul	2,016	16,04
Titik didih (=°C)	- 252,7	- 161
Specific gravity (relatif terhadap udara)	0,07	0,55
Koefisien difusi, cm ² /detik	0,63	0,2
Energi penyalaan, mJoule	0,02	0,3
Temperatur penyalaan, °C	573	534
Temperatur nyala, °C	2127	1917
Kecepatan nyala, m/detik	2,75	0,37
Emisivitas nyala	0,1	1,0
Panas penguapan, MJoule/kg	0,45	0,51
Panas pembakaran, MJoule/kg	120	50
Panas pembakaran, GJoule/kg	8,5	21
Batas terendah flammable, % vol	4,1	5,3
Batas tertinggi flammable, % vol	74	15
Batas terendah detonasi, % vol	18	6,3
Batas tertinggi detonasi, % vol	59	14
Warna nyala	Tak terlihat	Biru-kuning

Terlihat karekteristik hidrogen yang lebih berpotensi berbahaya daripada gas metana, yaitu:

1. Batas penyalaan hidrogen lebih lebar daripada gas metana.
2. “Lower Flammability Limit” dan “Upper Flammability Limit” untuk H₂ adalah 4 dan 75% sedangkan untuk CH₄ adalah 5 dan 15%).
3. Energi pemicu nyala H₂ lebih rendah daripada CH₄.
4. Kebocoran lebih mudah terjadi.
5. Kecepatan penjalaran nyala hidrogen lebih besar daripada kecepatannya pada CH₄.
6. Nyala hidrogen tidak terlihat mata manusia.

7. Hidrogen yang keluar dari lokasi kebocoran akan meningkat temperaturnya sehingga mudah menyala.

Namun perlu diingat pula bahwa energi ledak hidrogen-oksigen lebih kecil daripada energi ledak CH_4 -oksigen ketika mencapai batas flammability pada limit terendah (4% untuk hidrogen dan 5% untuk CH_4). Selain itu hidrogen lebih cepat hilang dari lokasi kebocoran karena difusinya dengan bahan lain lebih cepat karena ukuran atomnya amat kecil.

3.5. Aspek lingkungan.

Dampak negatif pada lingkungan apabila hidrogen menjadi umum dan digunakan secara luas di dunia maka ada kemungkinan jumlah hidrogen yang bocor akan dapat menembus stratosfir yang mungkin akan mengganggu kesetimbangan ozon sebagai penyaring sinar ultraviolet matahari. Paparan UV yang tinggi akan berbahaya bagi kesehatan manusia (H. Josef Hebert, 2005).

4. KESIMPULAN.

PEMFC merupakan fuelcell yang beroperasi pada temperatur rendah sehingga memberikan keuntungan dalam pengoperasiannya beban yang berubah-ubah seperti pada kendaraan. Bahan bakar hidrogen untuk PEMFC menghasilkan produk samping berupa air yang bersih, lebih bersih daripada sistem pembakaran bahan bakar lain pada kendaraan, sehingga emisi polutan akan dapat dikurangi.

Diperlukan studi material yang lebih mendasar dalam upaya produksi komponen sistem fuelcell ini terutama dalam hal pengembangan membran elektrolit dan elektrodanya. Selain itu, penyediaan bahan bakarnya juga perlu diselidiki menyesuaikan kondisi penerapannya.

Aspek yang perlu diteliti lebih lanjut adalah metoda proses produksi hidrogen yang digunakan, jenis bahan baku yang tersedia dengan mempertimbangkan nilai keekonomian untuk menjamin keberlanjutan proses produksinya.

Teknologi energi sistem fuelcell merupakan teknologi multi-disiplin. Dalam memanfaatkan teknologi PEMFC diperlukan perubahan cara pikir yang mendasar terutama sikap hati-hati dalam penanganan hidrogen pada saat proses produksi, keamanan penyimpanan, keamanan pengaliran saat pemanfaatannya. Jika hidrogen bisa menjadi suatu bahan bakar yang umum, maka dengan adanya teknologi fuelcell dengan tingkat kemampuan pertukaran bentuk energi tersebut akan memberikan banyak kesempatan bagi pengembangan aplikasi teknologi, peningkatan manfaat sosial. Perihal ini merupakan topik riset yang menantang.

Pemahaman tentang sistem fuelcell perlu disebar-luaskan sehingga masyarakat dapat mengevaluasi sendiri teknologi energi terbaik bagi kehidupan manusia dan untuk memperoleh lingkungan yang lebih baik

DAFTAR PUSTAKA

- Bockris, J.O.M. (1977), *Energy : The Solar Hydrogen Alternative*, Halsted Press, John Wiley & Sons.
- Dickson M.E., et al. (1977), *The Hydrogen Energy Economy : A Realistic Appraisal of Prospects and Impacts*, Praeger Publisher.
- Fuel Cell Handbook (2000), 5th edition, EG & G Services Parsons, Inc. Science Applications International Corp., USDOE, National Energy Technology Laboratory, Morgantown, West Virginia, October 2000.
- G.J.K. Acres et al. (1997), *Electrocatalysts for Fuel Cell*, Catalysis Today 38,
- H. Josef Hebert (2005), *Hydrogen Fuel Cells May Hurt Ozone*, Associated Press. <http://www.space.com/scienceastronom>
- Jaouen, F. (2003), *Electrochemical Characterisation of Porous Cathode in the PEMFC*, PhD Thesis, Dept. of Chem.Eng. & Tech. Applied Electrochemistry Stockholm, Sweden.
- Jari Ihonen (2003), *Development Of Characterisation Methods For The Components Of The Polymer Electrolyte Fuel Cell*, Doctoral Thesis, Department of Chemical Engineering and Technology Applied Electrochemistry Kungliga Tekniska Högskolan Stockholm, Sweden.
- Kenton Broyhill Wiles (2005), *High Performance Disulfonated Poly (Arylene Sulfone) Co-And Terpolymers For Proton Exchange Membranes For Fuel Cell And Transducer Applications: Synthesis, Characterization And Fabrication Of Ion Conducting Membranes*, PhD Thesis, Macromolecular Science and Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, USA.
- Prabha Ramchandra Acharya (2004), *An Advanced Fuel Cell Simulator*, Master Thesis, Electrical Engineering. Texas A&M University, USA.
- Wallmark, C. (2004), *Design and Evaluation of stationary polymer electrolyte fuel cell systems*, PhD Thesis, Dept. of Chem.Eng. & Tech. Energy Process, Stockholm, Sweden.