

# Fuel Cell Sebagai Penghasil Energi Abad 21

Hendratta Suhada

Dosen Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

## Abstrak

Kemajuan teknologi yang sangat cepat, menuntut penyediaan energi yang makin banyak, untuk industri maupun kebutuhan energi penggerak kendaraan, mengingat makin mendesaknya tuntutan tersebut, maka selalu dicari cara-cara untuk memanfaatkan energi yang sudah tersedia sebaik mungkin, sehingga energi yang terbuang dapat makin berkurang, hal ini dapat dilakukan dengan meningkatkan penggunaan energi tersebut se-efisien mungkin.

Keterbatasan cadangan minyak bumi merupakan salah satu pertimbangan untuk mencari energi atau alat yang baru yang dapat mengolah minyak se maksimal mungkin. Kendala yang ditimbulkan oleh energi minyak, yaitu mengakibatkan proses ekologi yang tidak menguntungkan menyebabkan perlu dikembangkannya pemanfaatan energi yang lain.

*Fuel cell* merupakan salah satu jalan keluar dari berbagai-bagai kendala yang sudah ada, yaitu pengolahan energi dengan cara listrik-kimiawi, dengan menggunakan hidrogen sebagai bahan bakar dan oksigen pembakarnya. Percobaan dan penelitian yang telah dilakukan sejak pertengahan abad 20, telah memberikan cukup banyak masukan yang positif, sehingga dapat dinyatakan bahwa *fuel cell* akan memberikan harapan untuk abad yang baru ini.

Kata kunci: energi, *fuel cell*.

## Abstract

*Technology development has proceed very fast in the last century, industries required a lot more power to meet the demands, vehicles developments also follow the demand for more energy, due to this the source of energy must be used wisely and efficiently, no loss of energy should be allowed.*

*Limitation of oil reserves is one of the reasons for searching new type of energy and new equipment, which are highly efficient.*

*The problem of the fossil fuels, which caused disadvantages in ecological system make it necessary to develop another, more better energy converter.*

*Fuel cell is one way out to the existing problems, which convert energy electro- chemically, using hydrogen as fuel and oksigen. Experimentation has been done since medio of 20<sup>th</sup> century, has given a lot of good result, so that fuel cell will be a good hope for this new century.*

Keywords: energy, *fuel cell*.

## 1. Pendahuluan

Memasuki abad yang baru ini manusia dihadapkan pada masalah yang sangat penting ditinjau dari makin pesatnya perkembangan teknologi di semua bidang, termasuk di antaranya kebutuhan akan energi. Mengingat adanya kebutuhan akan energi yang makin meningkat ini, mengakibatkan adanya aspek-aspek yang harus diperhatikan, apabila aspek-aspek ini tidak diperhitungkan, maka akan terjadi kerugian yang cukup besar, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang.

Pada kesempatan ini hanya akan dilakukan pembahasan dari segi teknis, yaitu mengenai ketersediaan bahan bakar, pengaruh terhadap

polusi lingkungan, kemampuan bertahan untuk jangka waktu yang cukup panjang, kesiapan dari infrastruktur yang mampu menyediakan kebutuhan-kebutuhan akan sumber daya, maupun perawatan dari suatu sistem teknologi yang tergolong baru.

Energi yang dihasilkan tentunya sangat ditentukan oleh kemampuan mesin, termasuk di antaranya motor bakar. Agar dapat menghasilkan energi yang lebih besar, maka motor harus lebih besar pula. Akibat langsung dari tuntutan ini adalah konsumsi bahan bakar menjadi makin besar.

Berdasarkan informasi dari *International Energy Annual* (Tabel 1) cadangan *crude oil* yang diperkirakan jumlahnya adalah 1016,8 *billion barrel*, sedang kebutuhan dunia akan minyak ini berdasarkan perhitungan pemakaian minyak pada tahun 1999 (Tabel 2) adalah 74.905 ribu *barrel* per hari, jadi dalam tahun

**Catatan** : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Februari 2002. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada *Jurnal Teknik Mesin* Volume 4 Nomor 1 April 2002.

1999 kebutuhan ini adalah 27,34 billion barrel, dengan demikian maka cadangan minyak bumi ini hanya dapat bertahan selama kurang lebih 37 tahun saja. Keterbatasan cadangan bahan bakar minyak dunia ini membuat para ahli mencari bahan bakar pengganti yang lain, selama ini telah banyak penelitian dilakukan yaitu mencari energi alternatif, seperti halnya energi solar, energi angin dll.

Selain keterbatasan akan cadangan energi, masih ada kendala lain yang perlu diperhitungkan bahan bakar minyak dan solar merupakan bahan bakar yang sudah dikenal dan dipakai secara berkesinambungan sejak lebih dari satu abad yang lalu, sampai pada suatu saat di mana ternyata ditemukan bahwa bahan bakar ini mengandung zat-zat beracun yang membahayakan kehidupan umat manusia, baik secara individu maupun secara global, seperti yang dikenal sebagai karbon monoksida, karbon dioksida, asam-asam nitrat, hidro karbon, dll.

Pengaruh efek rumah kaca yang dapat menaikkan suhu, gas karbon yang mengakibatkan smog di kota-kota besar yang sangat tidak sehat bagi manusia dan lingkungan, gas karbon monoksida(CO) yang sangat membahayakan jiwa manusia yang menghirupnya, karena gas ini sangat mematikan, benzene(C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) dan lengas dari solar dapat mengakibatkan penyakit kanker, gas nitrogen oxyda (NO<sub>x</sub>) yang merupakan polusi udara, ini semua disebabkan karena hasil pembuangan motor bakar yang menggunakan bahan bakar minyak, selain mengancam manusia secara langsung, akibatnya juga dirasakan oleh lingkungan sekitarnya termasuk tumbuh-tumbuhan dan gedung-gedung.

**Tabel 1. World Crude Oil Reserves**

Table World Crude Oil and Natural Gas Reserves, January 1, 2000				
	Crude Oil (Billion Barrels)	Crude Oil (Billion Barrels)	Natural Gas (Trillion Cubic Feet)	Natural Gas (Trillion Cubic Feet)
Region/Country	Oil and Gas Journal	World Oil	Oil and Gas Journal	World Oil
North America	55.1	55.6	261.3	261.3
Central & South America	89.5	69.2	222.7	227.9
Western Europe	18.8	17.6	159.5	152.7
Eastern Europe & Former U.S.S.R.	58.9	64.7	1,999.2	1,947.6
Middle East	675.6	629.2	1,749.2	1,836.2
Africa	74.9	86.5	394.2	409.7
Far East & Oceania	44.0	58.7	363.5	375.4
World Total	1,016.8	981.4	5,149.6	5,210.8

Last Updated on 2/5/01  
By EIA

**Tabel 2. World Consumption of Petroleum and Natural Gas**

Table World Consumption of Primary Energy by Selected Country Groups, 1990-1999										
Region/Country	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Petroleum (thousand barrels per day)										
World Total	65,974	66,559	66,758	66,996	68,206	69,878	71,411	73,057	73,642	74,905
OECD	40,917	41,400	42,424	42,982	44,167	44,962	46,072	46,830	46,925	47,814
Non OECD	25,056	25,159	24,334	24,015	24,119	24,916	25,339	26,227	26,717	27,291
Other Groups:										
OECD Europe	13,368	13,827	14,073	14,140	14,226	14,756	14,764	15,155	15,457	15,270
OPEC	4,388	4,472	4,29	4,909	5,054	5,232	5,293	5,535	5,513	5,656
EU	11,957	12,443	12,631	12,481	12,577	13,052	13,129	13,270	13,556	13,369
IEA	37,922	38,216	38,936	39,264	40,192	40,878	41,745	42,149	42,587	43,160
Natural Gas (trillion cubic feet)										
World Total	72.91	74.38	74.35	76.58	76.38	78.02	81.65	81.41	81.90	84.20

Dengan makin bertambahnya jumlah penduduk dunia, maka timbul kekhawatiran kalau-kalau hasil-hasil teknologi ini akan mengakibatkan kerusakan dunia secara menyeluruh, kalau tidak dilakukan pengendalian terhadap hasil-hasil produk tersebut. Kesadaran akan hal ini membuat para pencinta lingkungan dan tehnisi dengan diawasi oleh lembaga-lembaga pemerintah yang bertanggung jawab melakukan usaha-usaha di bidang teknologi, yaitu dengan membuat perancangan peralatan yang tidak merugikan lingkungan. Kebutuhan akan bahan bakar minyak yang terus meningkat memberikan gagasan untuk lebih meng-efisiensikan pemakaiannya, merancang mesin yang lebih irit, menggunakan sistem penyemprotan langsung(direct injection) pada motor bensin, memanfaatkan kembali panas yang dibuang menjadi energi yang bermanfaat, mengatur pemakaian daya secara elektronik dll.

Dalam memasuki abad 21, fuel cell merupakan suatu teknologi yang akan merupakan masa depan dalam pengolahan bahan bakar tertentu menjadi suatu energi yang diperlukan untuk menggerakkan bermacam-macam peralatan. Sebelum suatu teknologi yang baru dapat dipakai secara menyeluruh oleh semua lapisan, baik industri maupun masyarakat secara umum, perlulah diadakan penelitian dan percobaan yang mampu menelitinya dari semua aspek yang ada dan menghasilkan perkembangan-perkembangan yang optimal sehingga dapatlah dicapai hasil yang diharapkan oleh para pemakai.

Fuel cell yang pada saat ini masih merupakan produk harapan untuk masa depan, sebenarnya sudah dikenal cukup lama, tetapi pengembangannya baru dilakukan belum terlalu lama bahkan penggunaannya untuk kebutuhan baru dilakukan secara intensif pada akhir abad 20. Untuk mengaplikasikannya sebagai mesin pengganti, suatu teknologi yang perkembangannya masih baru, tentunya harus dibandingkan secara matang dengan produk-

produk yang sudah dikenal, seperti motor bakar, maupun jenis penghasil energi yang lain seperti baterai dan *solar cell*.

Pada baterai masih diperlukan *cell* yang mempunyai kepadatan energi yang tinggi walaupun berat dan volumenya kecil, pada tabel 3 dapat dilihat beberapa jenis batere, makin besar energi yang dimiliki oleh sebuah batere akan makin berat dan makin besar pula volumenya, tentunya akan sangat mempengaruhi daya angkut dan jarak tempuh sebuah kendaraan yang digerakkan dengan batere tersebut.

**Table 3. Data-data Baterai**

Nilai teoritis dan praktis	Timbal (Pb)	Ni Cd	NiMH	Li-Ion/ Polymer	FORTU-Batterie
Tegangan cell[V]	2	1,2	1,2	3,6	4
Energi spesifik teor. [Wh/kg]	170	210	380	500	1100
Energi spes. prakt. [Wh/kg]	40	50	80	120 – 150	200
Kepadatan energi prakt. [Wh/l]	90	90	180	300	500

Kesulitan yang juga dihadapi pada baterai yaitu masa pengisian ulang yang cukup lama.

*Solar cell* yang sudah semakin banyak digunakan untuk menghasilkan energi listrik, memiliki beberapa keterbatasan, yaitu sangat tergantung dari sinar matahari, sehingga sulit dioperasikan pada malam hari, untuk menghasilkan energi yang besar, dibutuhkan unit *solar cell* yang banyak dan luas dan tempat yang luas pula, harga unit *solar cell* untuk masa kini masih tergolong mahal.

Pada saat ini motor bakar yang menggunakan bahan bakar fosil masih akan tetap bertahan, berhubung telah banyak hal yang dilakukan untuk memperbaiki desainnya, sehingga kendala-kendala yang ada dapat dihambat dan diperkecil, di antaranya membuat agar motor lebih irit bahan bakar dan lebih memperhatikan lingkungan, yaitu dengan menekan gas beracun seminimal mungkin. Diperkirakan sampai tahun 2010 motor bakar masih akan tetap bertahan, walaupun pada saat ini telah sangat digalakkan pengembangan dan penelitian dari mesin pengganti jenis lain.

Penggunaan energi yang berbeda-beda, yaitu stasioner atau mobil, energi berskala besar atau sedang sampai kecil, mengakibatkan pemilihan jenis penghasil energi yang berbeda pula. Untuk jenis stasioner telah banyak ditawarkan jenis penggerak dengan menggunakan energi utamanya dari angin, yaitu kincir angin atau matahari sebagai energi utama dengan menggunakan *solar cell*.

Untuk jenis penggerak yang mobil, telah dicoba dengan menggunakan baterai dan *solar cell*, di mana masing-masing masih mempunyai

kendalanya sendiri. *Fuel cell* yang telah mulai dikembangkan dan dicoba sejak pertengahan abad ke 20 dan makin digalakkan penggunaannya untuk penggerak mobil pada tahun 90 an, memberikan suatu jenis mesin penggerak yang baru, yang memberikan harapan yang sangat meyakinkan, yang memiliki kemampuan untuk menggantikan motor bakar di masa mendatang. Dari informasi yang diberikan oleh para produsen *fuel cell*, ternyata telah banyak yang digunakan untuk kebutuhan stasioner, misalnya pada stasiun pembangkit listrik dengan kapasitas sedang, bahkan telah diuji di Jepang dan Itali dengan kapasitas tinggi.

## 2. Fuel Cell

### 2.1 Sejarah Perkembangan Fuel Cell

*Fuel cell* telah didemonstrasikan oleh Sir William Robert Grove, seorang ahli hukum merangkap sebagai ahli fisika amatir, pada tahun 1839, dengan melakukan pembalikan elektrolisa air, elektrode yang digunakan adalah platina.

Pada tahun 1889, Charles Langer dan Ludwig Mond pertama kali menggunakan istilah *fuel cell*, pada saat mencoba membuat mesin generator dengan menggunakan udara dan gas arang. Pada tahun 1932 Francis Bacon berhasil mengembangkan *fuel cell*.

Untuk menerapkan *fuel cell* dalam penggunaan praktis baru dapat dilakukan 27 tahun kemudian, yaitu sebagai penghasil tenaga listrik untuk alat las dengan kapasitas 5 kW. Mulai tahun 1950 pihak NASA di Amerika Serikat telah melakukan pemanfaatan untuk program angkasa luar mereka yaitu untuk pesawat roket Appolo dan Gemini.

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

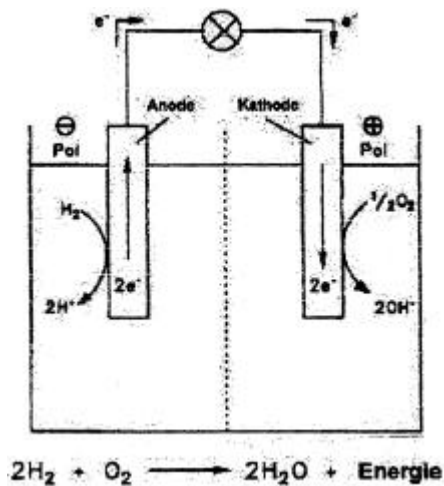
### 2.2 Prinsip Dasar

*Fuel cell* bekerja berdasar prinsip pembakaran listrik-kimiawi, *cell* ini akan memproduksi energi listrik arus searah. *Fuel cell* ini terdiri dari elektrolit yang memisahkan katoda dari anoda, elektrolit hanya dapat menghantar ion saja, sedangkan elektron tidak dapat melewati elektrolit, jadi elektrolit ini bukan penghantar listrik dan juga menghindarkan terjadinya reaksi kimia. Pada anoda akan dialirkan secara berkesinambungan bahan bakar dan pada kattode dialirkan oksigen,

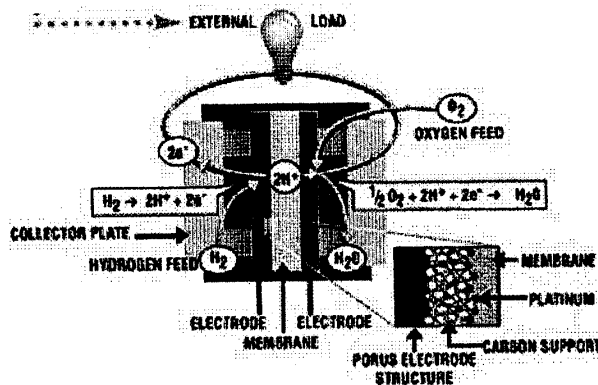
pengaliran ini dilakukan secara terpisah. Karena pengaruh katalisator pada elektroda, maka molekul-molekul dari gas yang dialirkan akan berubah menjadi ion. Reaksi pada anoda menghasilkan elektron yang bebas, sedang pada katoda elektron yang bebas akan diikat.

Elektron-elektron bebas yang terjadi harus dialirkan keluar melalui penghantar menuju ke anoda, agar proses listrik-kimiawi dapat berlangsung.

Panas yang timbul dari hasil reaksi kimia harus terus menerus dibuang, agar energi listrik dapat terbentuk secara kontinyu.

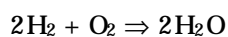


Gambar 1. Skema Fuel Cell

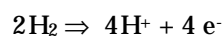


Gambar 2. Skema PEM Fuel Cell

Reaksi kimia pada *fuel cell*.

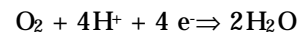


Pada anoda hidrogen di oksidasi menjadi proton:



Setiap molekul  $\text{H}_2$  terpecah menjadi dua atom  $\text{H}$  (proton), sedang setiap atom hidrogen melepaskan elektronnya. Proton ini akan bergerak menuju katoda melewati membran.

Elektron yang terbentuk akan menghasilkan arus listrik kalau dihubungkan dengan penghantar listrik menuju katoda. Pada katoda oksigen dirubah :



Molekul oksigen akan bergabung dengan empat elektron, menjadi ion oksigen yang bermuatan negatif untuk selanjutnya bergabung lagi dengan proton yang mengalir dari anoda. Setiap ion oksigen akan melepaskan kedua muatan negatifnya dan bergabung dengan dua proton, sehingga terjadi oksidasi menjadi air.

### 2.3 Jenis Fuel Cell

Jenis dari pada *fuel cell* ditentukan oleh material yang digunakan sebagai elektrolit yang mampu menghantar proton. Pada saat ini ada 6 jenis *fuel cell* yaitu:

- Alkaline (AFC)
- Proton exchange membrane, juga disebut proton electrolyt membrane (PEM)
- Phosphoric Acid (PAFC)
- Molten carbonate (MCFC)
- Solid oxide (SOFC)
- Direct methanol fuel cells (DMFC)
- Regenerative fuel cells

Dari tabel 4 dapat dilihat jenis dari pada elektrolit untuk masing-masing *fuel cell* dan operasi temperatur, karakteristik dan penggunaannya. *Fuel cell* mempunyai efisiensi yang cukup tinggi, dari 40% sampai 70%, tergantung dari jenis *fuel cell*, yang paling tinggi adalah alkaline (AFC), solid oxyde (SOFC), direct methanol fuel cell (DMFC) dan regenerative fuel cell.

*Fuel cell* mempunyai kepekaan terhadap zat-zat tertentu seperti  $\text{CO}_2$ , CO, korosi dan produk oksidasi.

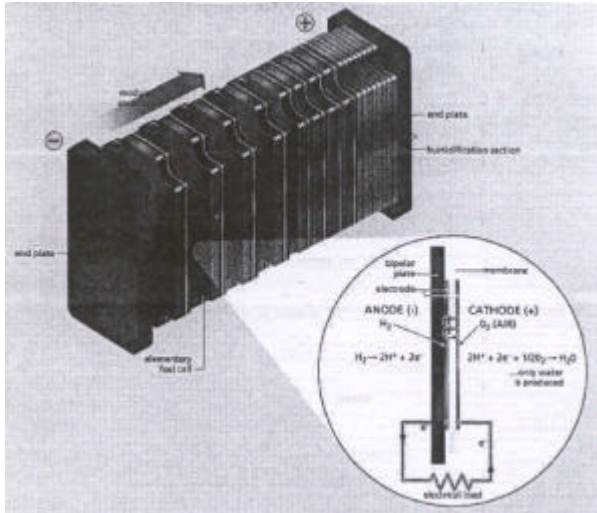
Penggunaan dari pada *fuel cell* ini terutama untuk menghasilkan energi yang dipakai pada program angkasa luar, power station penghasil listrik atau energi panas dan untuk kendaraan.

Alkaline fuel cells (AFC) menggunakan alkaline potassium hydroxyde sebagai elektrolit, dapat menghasilkan efisiensi sampai 70%. Banyak digunakan oleh NASA untuk misi ulang-alik angkasa luar. Biayanya sangat mahal, sehingga tidak dipakai untuk komersial.

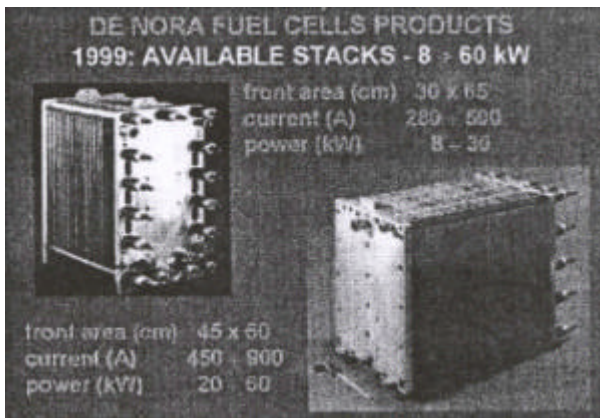
Proton exchange membrane (PEM) memiliki membran yang terbuat dari plastik tipis yang pada kedua sisinya dilapisi dengan platina. Jenis ini sangat sesuai untuk kendaraan, karena mampu beroperasi pada temperatur yang rendah. Harganya relatif murah, sehingga dapat digunakan untuk alat listrik, kamera video dan telepon selular.

Fuel cell PEM memiliki kepadatan energi yang tinggi (*high energy density*). Gambar 3a dan 3b adalah *proton exchange membrane fuel cells* dari beberapa produsen.

*Phosphoric acid fuel cells* (PAFC) sudah banyak digunakan untuk penghasil listrik di rumah sakit, hotel, perkantoran, sekolah dan stasiun penghasil listrik.



Gambar 3a. PEM Fuel Cell Stack



Gambar 3b. PEM Fuel Cell Stack

*Molten carbonate* (MCFC) beroperasi pada temperatur yang tinggi sehingga hanya dapat digunakan untuk keperluan industri. Jenis ini dapat dipakai untuk menghasilkan energi yang besar, energi sebesar 10 kW dan 2 MW telah diuji coba di Jepang dan Itali.

*Solid oxide* (SOFC) ini menggunakan material dari keramik keras, memungkinkan untuk operasi temperatur tinggi, banyak dicoba untuk keperluan stasiun pembangkit tenaga listrik. Cell ini berbentuk tabung. Gambar 4 sebuah *solid oxide fuel cell*.

Tabel 4. Jenis Fuel Cell dan Karakteristik

Jenis	Elektrolit	Temperatur operasi [°C]	Karakteristik	Penggunaan
Alkaline(AFC)	Kalilauge (KOH)	60 - 120	Efisiensi energi tinggi, memiliki kepekaan terhadap CO <sub>2</sub>	Pesawat ruang angkasa, kendaraan
Polymer Ex-change Mem-brane (PEM)	Polymer elektrolit (H <sup>+</sup> )	60 - 100	Kerapatan energi tinggi, memiliki kepekaan thd CO (<100ppm)	Kendaraan (sedan, bis, minivan), stasiun pembangkit panas
Phosphoric Acid Fuel cell (PAFC)	Phosphor Acid (H <sup>+</sup> )	160 - 200	Efisiensi energi terbatas, peka thd CO (<1,5% Vol)	Stasiun pembangkit panas, kendaraan
Molten Carbonate (MCFC)	Molten carbonate (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	500 - 650	Problem korosi	Stasiun Pembangkit energi panas, pembangkit energi listrik
Solid Oxide (SOFC)	Lapisan keramik (O <sup>2-</sup> )	800 - 1000	Efisiensi sistem tinggi, temperatur operasi perlu diturunkan	Pembangkit energi panas, penggabung Stasiun pembangkit dg. turbin gas
Direct Methanol Fuel cell (DMFC)	Elektrolit Polymer (H <sup>+</sup> )	60 - 120	Efisiensi sistem tinggi, peka thd. Hasil oksidasi di anoda	Kendaraan

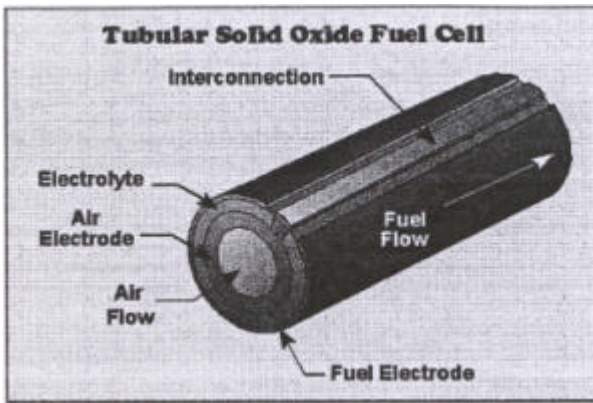
Jepang telah mencoba dengan tenaga yang dihasilkan sebesar 25 kW dan di Eropa sudah dicoba sebesar 100 kW, percobaan sebesar 220 kW sedang dilakukan.

*Direct methanol fuel cell* (DMFC) mirip dengan *proton exchange elektrolit* (PEM), yaitu sama-sama menggunakan plastik polymer sebagai membran. Pada DMFC hidrogen diambil secara langsung oleh katalisator anoda dari methanol cair, sehingga tidak diperlukan sebuah *reformer* bahan bakar.

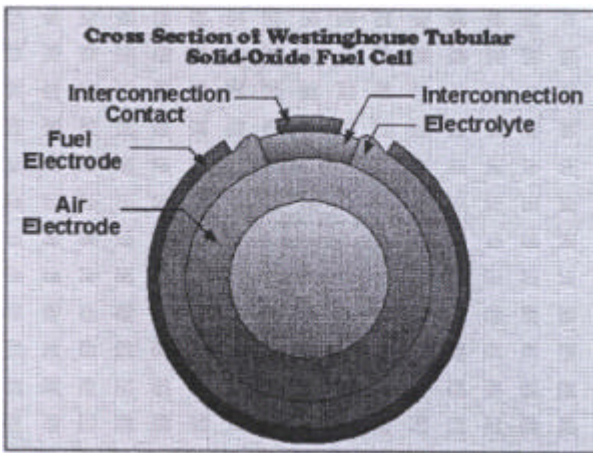
*Regenerative fuel cell* merupakan jenis yang terbaru. Dengan menggunakan elektrolisa tenaga solar cell, maka bahan-bahan yang diperlukan oleh *fuel cell* diambil dari air dengan cara mengubahnya menjadi hidrogen dan oksigen, yang selanjutnya dapat menghasilkan tenaga listrik, panas dan air. Air ini didaur ulang dengan proses yang sama.

Dari tabel 4 dapat diketahui temperatur operasi dari bermacam-macam jenis *fuel cell* tersebut. Apabila *fuel cell* ini digunakan untuk kendaraan, maka temperatur operasi yang terlalu tinggi akan kurang memadai. PEM dan DMFC beroperasi pada temperatur rendah, sedang penggunaan AFC untuk keperluan ini tidak menguntungkan, karena harganya mahal.





Gambar 4a. Solid Oxide Fuel Cell



Gambar 4b. Penampang Solid

**2.4 Keuntungan Fuel Cell**

- Mempunyai efisiensi thermis dan efisiensi listrik yang tinggi
- Tidak berpengaruh terhadap efisiensi baik digunakan pada beban penuh atau setengah
- Gas buang yang beracun hanya sedikit, bahkan dapat mencapai zero emission
- Kemungkinan terjadinya gangguan kerusakan jarang dan jaraknya cukup lama
- Karena tidak ada bagian yang berputar, maka perawatan lebih ringan
- Tidak bising

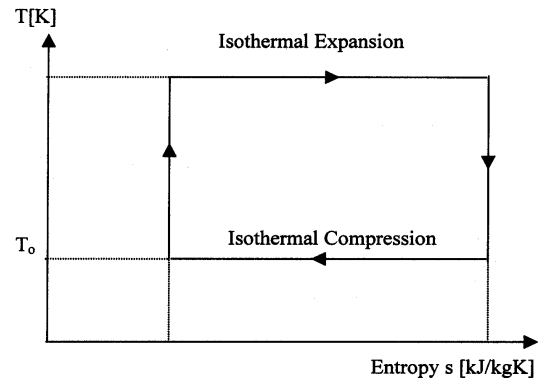
**Table 5. Efisiensi dari Berbagai-Macam Jenis Fuel Cell**

Type Fuel cell	Efisiensi	Bahan bakar awal
PEM	40%	reformed methanol, gas alam, hidrogen
PAFC	40%	reformed gas alam, hidrogen
MCFC	sampai 65%	Gas alam, gas arang, bio gas, hidrogen
SOFC	sampai 70%	Gas alam, gas arang, bio gas, hidrogen

Keuntungan efisiensi lebih tinggi dibandingkan dengan motor bakar, adalah ketidakterikatannya pada proses Carnot yang mem-

batasi efisiensi motor bakar, dimana proses Carnot adalah proses motor bakar yang paling ideal.

Batas efisiensi maksimum yang dapat dicapai oleh sebuah motor bakar adalah efisiensi sesuai proses Carnot. Sistem *fuel cell* mempunyai efisiensi yang tidak dibatasi oleh proses Carnot.



Gambar 5. Proses Carnot

Efisiensi dari proses Carnot

$$\eta_c = 1 - T_0/T$$

Pada motor bakar pemakaian bahan bakar sangat dipengaruhi oleh beban operasinya, sehingga pada saat beroperasi pada beban yang kurang menguntungkan pemakaian bahan bakar akan lebih boros, sedang pada *fuel cell* hal ini tidak berpengaruh.

Karena tidak ada pembakaran, maka tidak ada gas nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>). Gas buang yang beracun pada *fuel cell* kadarnya sangat rendah tergantung dari jenis bahan awal yang dipakai, bahkan apabila mengambil hidrogen dari udara atau air dapat ditekan sampai 0%.

Tidak adanya bagian yang berputar maupun komponen yang bergerak secara kontinu pada *fuel cell* menyebabkan tidak terjadinya keausan, keausan yang terjadi hanya karena proses elektro kimiawi, dengan digunakannya material yang tepat maka keausan dapat diperkecil, dengan demikian maka kerusakan yang mungkin terjadi tidak terlalu banyak dan perawatan menjadi lebih ringan.

Dengan terjadinya reaksi kimia yang tidak mengalami gesekan dan ledakan, maka tidak ada suara yang keras.

**3. Bahan Bakar**

**3.1 Jenis Bahan Bakar**

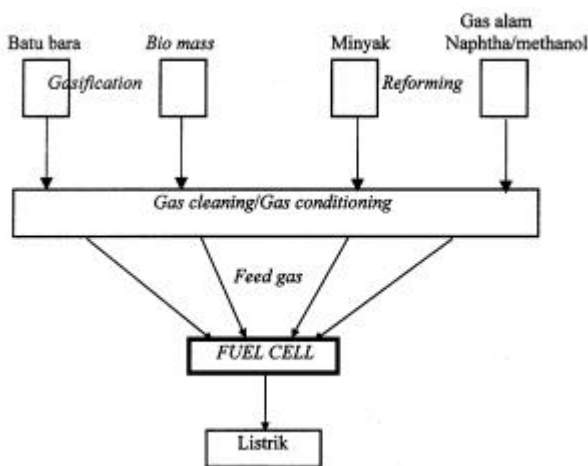
Bahan bakar yang digunakan adalah hidrogen. Hidrogen dapat diperoleh dari bermacam-macam sumber diantaranya udara, air, *biomass*,

bahan bakar minyak, batubara, gas alam, methanol, methan, ethanol dsb. Pemilihan bahan awal untuk mendapatkan hidrogen tergantung dari penggunaannya, pada kendaraan dipergunakan bahan yang mudah diangkut dan tidak membutuhkan tangki yang terlalu khusus, baik dari segi berat maupun volume, selain itu diperlukan alat khusus untuk mengolah bahan awal menjadi hidrogen yaitu *reformer*, sedang untuk penggunaan stasioner, bahan awal dapat disimpan di dalam sebuah tangki yang besarnya disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi tempat.

Tergantung dari bahan awal yang dipakai maupun kondisi dari bahan awal, maka diperlukan beberapa proses persiapan sebelum diperoleh hidrogen. Dari tangki penyimpanan bahan awal dibersihkan dari semua kandungan belerang dan halogen, maupun partikel-partikel yang ada, selanjutnya melalui *reformer* diperoleh hidrogen.

Bahan bakar yang pada saat ini digunakan untuk *fuel cell* pada kendaraan adalah hidrogen dan methanol, hidrogen tidak memerlukan *reformer*, tetapi membutuhkan tangki khusus, sedang methanol membutuhkan *reformer*.

### 3.2 Proses Pengolahan Gas Hidrogen untuk Fuel Cell



Gambar 6. Proses Pengolahan Hidrogen

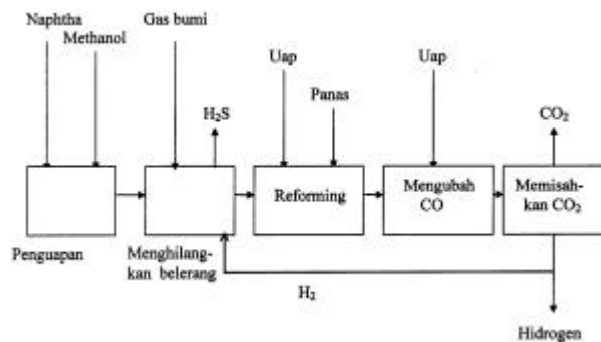
Dari bahan bakar awal ini dapat diperoleh hidrogen yang diperlukan oleh *fuel cell*, dengan cara melakukan reaksi dengan uap air. Perubahan terjadinya gas hidrogen ini disebut *gasification* pada material awal seperti batu bara atau minyak berat, sedang pada methanol atau bahan gas adalah *reforming*.

Pada saat pembersihan gas, bagian-bagian yang terdapat pada bahan bakar awal seperti

debu, komponen belerang dan chlor yang masih ada dibersihkan, sedang pada *conditioning* terjadi pengubahan gas yang tidak dikehendaki seperti gas CO. Setelah melalui proses ini bahan bakar disebut *feed gas* yang siap untuk dikonsumsi oleh *fuel cell*. Reaksi yang terjadi antara bahan bakar seperti methan(gas bumi), methanol dan naphtha yang diberi uap air pada proses *reforming*, sehingga terdapat *feed gas* atau hidrogen adalah sbb.:

- *Reforming* gas bumi(methan)  
 $CH_4 + H_2O \Rightarrow CO + 3H_2$
- *Reforming* methanol(methyl alcohol)  
 $CH_3OH + H_2O \Rightarrow CO_2 + 3H_2$
- *Reforming* Naphtha  
 $C_nH_m + nH_2O \Rightarrow nCO + (n + m/2) H_2$
- Reaksi sampingan dan reaksi lanjutan  
 $CO + H_2O \Rightarrow CO_2 + H_2$   
 $CO + 3 H_2 \Rightarrow CH_4 + H_2O$

Proses yang terjadi pada *reforming*.



Gambar 9. Proses Reforming

Hidrogen adalah bahan bakar dengan "low density energy", sehingga untuk mendapatkan energi yang cukup diperlukan jumlah hidrogen yang cukup besar, dari tabel di bawah ini, dapat dilihat berapa banyak energi [kJ] yang dapat dihasilkan oleh masing-masing bahan bakar untuk setiap liter.

Tabel 5. Energi yang Dihasilkan oleh Bahan Bakar

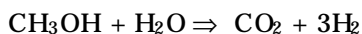
Jenis bahan bakar	berat jenis [lb/ft³]	Energi [BTU/ft³]	Energi [kJ/l]
Gas hidrogen	0,0052	320	11,9
Hidrogen cair (-253°C/10 <sup>5</sup> Pa)	4,4	240.000	8942
Methanol cair	49	480.000	17885
Bensin(Octan 90)	46	950.000	35397

Dari tabel 5 dapat dilihat bahwa energi yang dihasilkan oleh methanol lebih kecil dari pada bensin, untuk jumlah liter yang sama, sedang hidrogen cair hanya menghasilkan seperempat

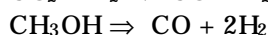
energi dari bensin. Ditinjau dari per satuan berat, maka hidrogen mampu menghasilkan energi yang jauh lebih besar dari bensin.

### 3.3 Proses Reforming Methanol

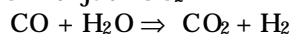
Untuk mendapatkan hidrogen dari methanol, maka campuran methanol dan air dimasukkan kedalam *reformer* untuk dialiri dengan panas, sehingga terjadi reaksi kimia :



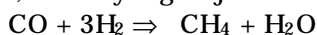
selain itu terjadi juga reaksi yang tidak dikehendaki sbb. :



maupun reaksi yang diinginkan, yaitu mengubah CO menjadi CO<sub>2</sub>



Untuk mendapatkan hidrogen yang bersih dari sisa gas yang tidak dikehendaki, maka gas CO yang masih ada harus dihilangkan atau diproses, reaksi yang terjadi adalah sbb.



## 4. Penutup

Telah banyak percobaan-percobaan dan perkembangan yang dilakukan untuk menggunakan *fuel cell* sebagai penghasil energi dan hasilnya adalah sangat memuaskan, karena beberapa kelebihan yang sudah jelas-jelas dimiliki oleh *fuel cell* ini dibandingkan motor penggerak konvensional yaitu motor bakar, beberapa hasil yang menguntungkan seperti polusi yang lebih rendah, efisiensi lebih tinggi, lebih tidak bising, umur lebih panjang, perawatan lebih ringan dan mudah dsb.

Tuntutan akan ekologi pada lingkungan yang dari waktu ke waktu menjadi makin ketat mengingat akan keinginan manusia untuk mempertahankan lingkungan hidupnya secara lebih serius merupakan faktor penentu dari pada penggunaan *fuel cell* ini.

Pemanfaatan regeneratif energi yaitu angin, udara, matahari akan selalu menjadi energi yang akan sangat diperhitungkan untuk masa depan, dan energi ini juga sudah masuk dalam perhitungan penggunaan sistem yang baru walaupun hasilnya masih belum terlalu dapat diandalkan secara komersial.

Kesiapan akan teknologi baru yang akan menggantikan teknologi lama ini, sangat diharapkan oleh semua pihak baik swasta sebagai produsen dan masyarakat umum sebagai pemakai maupun pemerintah dan

lembaga penelitian sebagai pengawas, dapat dipastikan bahwa *fuel cell* akan merupakan peralatan penghasil energi untuk abad 21.

## Daftar Pustaka

1. Blomen L.J.M.J. dan Mugerwa M.N., *The fuel cell systems*, New York, Plenum Presss, 1993.
2. Mitchell W., *Fuel cells*, New York, Academic Press, 1963.
3. Williams K.R., *An Introduction to fuel cells*, Amsterdam, New York, Elsevier Pub. Co., 1966.
4. Hütte, *Die Grundlagen der Ingenieurwissenschaften*, 29 Auflage, Berlin, Springer Verlag, 1989.
5. Avallone E.A. dan Baumeister T. III, *Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers*, 9<sup>th</sup> edition, New York, McGraw-Hill, 1987.
6. "International Energy Annual 1999", *Energy Information Administration*, US Department of Energy, Washington
7. "Brennstoffzelle – Vor. und Nachteile", *Umwelt Bundes Amt, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit*, Germany, 2.6.1999.
8. "Hydrogen and Fuel Cell Informationm System", *HyWeb*, L-B-Systemtechnik GmbH., Ottobrunn, Germany.
9. Prof. Dr. R. Blume, "Arbeitsgruppe Didaktik der Chemie II", *Fakultät für Chemie*, Universität Bielefeld, Germany, 12.6.2001.
10. Dipl. Ing. Dr. G.R. Simader, "Brennstoffzellen-Systeme Energiekonverter für das 21 Jahrhundert", *EVA-Energieverwertungsgesellschaft*, Linz, Austria, 11.10.1999.