

# Desain Sistem Fuel Cell Untuk Pembangkit Listrik Daerah Terpencil

Luthfi Mufidatul Hasanah<sup>1,a\*</sup>, Cornelius Satria Yudha<sup>1</sup>, Soraya Ulfa Muzayanha<sup>1</sup>, Inayati<sup>1,b</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Magister Teknik Kimia, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir Sutami 36 A, Surakarta, Jawa Tengah, 57126

E-mail: <sup>a</sup>luthfimufida@gmail.com, <sup>b</sup>inayati@staff.uns.ac.id (\*Corresponding author)

**Abstrak.** *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC)* adalah suatu alat yang digunakan untuk mengubah hidrogen menjadi listrik melalui reaksi elektrokimia. Sistem PEMFC dapat digunakan sebagai pembangkit listrik untuk daerah terpencil yang tidak mendapatkan akses listrik dari PLN. Paper ini menyajikan desain sistem fuel cell untuk suatu komunitas dengan 20 rumah, dengan desain daya masing-masing rumah sebesar 450 watt pada tegangan 220 volt. Gas hidrogen dengan kemurnian 99,999% digunakan sebagai 'bahan bakar' dan disimpan dalam bentuk gas bertekanan tinggi. Oksidan yang diperlukan untuk reaksi disediakan dari udara. Fuel cell stack beroperasi pada tekanan atmosferis. Bahan baku pembuatan hidrogen berasal dari gas alam. Dari perhitungan yang dilakukan, untuk penyediaan listrik selama satu bulan operasi diperlukan hidrogen dari gas alam sebanyak 1605,60 kg. Sedangkan kebutuhan udara sebanyak 66607,20 Nm<sup>3</sup>. Ukuran tangki penyimpanan hidrogen sebesar 107040,00 liter pada tekanan 700 bar. Kebutuhan bahan bakar dari gas alam sebesar 6595,20 kg/bulan.

**Kata kunci:** Fuel Cell, PEMFC, power supply, hidrogen, tangki penyimpanan hidrogen.

**Abstract.** Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC) is a device used to convert hydrogen into electricity through electrochemical reactions. The PEMFC system can be used as a power plant for remote areas that do not get access to electricity from PLN. This paper presents the design of a fuel cell system for a community of 20 houses, with the design of each home's power of 450 watts at 220 volts. Hydrogen gas with 99.999% purity is used as 'fuel' and stored in high pressure gas. The oxidants needed for the reaction are provided from the air. The fuel cell stack operates at atmospheric pressure. The raw material for making hydrogen comes from natural gas. From the calculations, for the supply of electricity for one month of operation, 1605.60 kg of hydrogen is needed from natural gas. While the air requirement is 66607.20 Nm<sup>3</sup>. The size of hydrogen storage tank is 107040.00 liters at 700 bar pressure. The fuel requirement of natural gas is 6595.20 kg / month.

Keywords: Fuel Cell, PEMFC, power supply, hydrogen, hydrogen storage tanks.

## 1. Pendahuluan

Pada era ini, dunia menghadapi dua krisis yaitu sumber bahan bakar fosil yang semakin nipis dan kenaikan iklim secara global (*Global warming*). Disisi lain kebutuhan energi listrik akan terus mengalami peningkatan seiring adanya peningkatan teknologi. Dengan adanya kenaikan kebutuhan energi listrik didaerah perkotaan, daerah terpencil di Indonesialah yang menjadi korban karena belum juga teraliri listrik oleh negara. Hal ini juga didukung karena daerah terpencil yang susah dijangkau (biaya yang dikeluarkan untuk mengalirkan listrik tidak seimbang dengan harga listrik). Perkembangan teknologi fuel cell telah banyak diaplikasikan diberbagai negara maju. Hal ini karena Fuel cell merupakan suatu pembangkit listrik yang tidak menghasilkan polusi sehingga selaras dengan adanya tujuan penurunan Green House Gas (GHG Emission).

Fuel cell adalah suatu sistem yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik melewati proses elektrokimia dengan menggunakan bahan baku hidrogen dan oksigen. Persamaan antara fuel cell dengan



baterai yaitu (i) menggunakan anoda, katoda dan elektrolit, (ii) melalui reaksi elektrokimia sehingga menghasilkan listrik searah. Sedangkan perbedaannya yaitu fuel cell memanfaatkan pasokan bahan bakar antara lain hidrogen dan oksigen secara terus-menerus dan tidak mengalami perubahan struktur kimia, sedangkan pada baterai terjadi perubahan kimia pada elektrodanya. Kelebihan fuel cell adalah operasi berjalan dengan tenang atau tidak menghasilkan kebisingan, konstruksi berbentuk modular sederhana yang flexibel sehingga mampu menggunakan berbagai jenis bahan baku yang ada sebagai sumber bahan bakarnya, fuel cell memiliki efisiensi cukup tinggi yaitu dapat langsung mengubah energi kimia menjadi energi listrik sehingga kehilangan energi sangat sedikit, ramah lingkungan karena limbah yang dihasilkan air, fuel cell tidak memerlukan sistem isi ulang (energi listrik akan terus dihasilkan jika pasokan bahan bakar terus mengalir secara terus-menerus), sumber hidrogen dapat diperoleh dari berbagai bahan baku dialam salah satunya dari gas alam.

Jenis Fuel Cell sangat beragam antara lain : *Alkaline Fuel Cell* (AFC), *Polymer Electrolyte Membran Fuel Cell* (PEMFC), *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC), *Phosphoric Acid Fuel Cell* (PAFC), *Molten Carbonate Fuel Cell* (MCFC), dan *Solid Oxide Fuel Cell* (SOFC). Dari berbagai jenis Fuel cell tersebut, penulis memilih *Polymer Electrolyte Membran Fuel Cell* (PEMFC) karena memiliki banyak kelebihan yaitu : membran yang digunakan tidak mudah menguap (volatil) karena padatan, elektrolit yang bersifat menolak keberadaan CO<sub>2</sub>, kemungkinan terbentuk korosi rendah, masalah elektrolit rendah, beroperasi pada temperature rendah, tidak menggunakan waktu yang lama selama proses start-up dan pengisian, efisiensi tinggi [1]. Disisi lain, *Polymer Electrolyte Membran Fuel Cell* (PEMFC) memiliki kelemahan yaitu rendah akan toleransi adanya impuritas yang masuk kedalam Fuel cell, harga katalis yang masih tergolong mahal [1] yaitu Platina, dan proses hidrasi membran yang sulit (30-60%). Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah gas alam. Gas alam diperoleh dari hasil proses *steam methane reforming* (SMR). Alasan menggunakan *steam methane reforming* adalah menghasilkan sedikit hasil/jejak CO<sub>2</sub>, bahan baku tersedia dalam jumlah banyak didunia, menggunakan teknologi yang sudah tersedia, investasi cukup tergolong murah baik dari segi pengadaan alat hingga proses produksi [2]

## 2. Metode penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan analisa perhitungan efisiensi pada sistem *overall*. Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah gas alam. Gas alam didapat melalui proses *steam methane reforming* (SMR), proses ini dipilih karena teknologi yang tinggi telah tersedia. *methane* diperoleh dari *off gas* PT Pertamina EP3 (Jatibarang). Kandungan dalam bahan bakar gas alam dijelaskan kedalam tabel 1.1 dibawah ini.

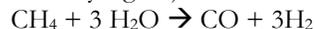
Tabel 1. Kandungan molekul dalam gas alam

Komponen	% mol
CH <sub>4</sub>	82,00
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	11,00
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,20
H <sub>2</sub> S	3 ppm
N <sub>2</sub>	0,20
CO <sub>2</sub>	6,60

Urutan pembuatan hidrogen menggunakan gas alam sebagai berikut :

1. *Steam Methane Reforming*

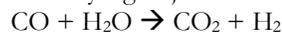
Reaksi yang terjadi :



Konversi CH<sub>4</sub> sebesar 80%, rasio penggunaan CH<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O sebesar 1 : 3 dan menggunakan katalis berbasis nikel [3]

2. *Water Gas Shift*

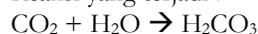
Reaksi yang terjadi :

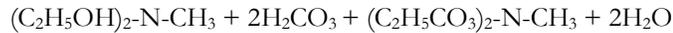


Konversi CO sebesar 65% dan menggunakan katalis berbasis nikel [3].

3. *MDEA Absorber column*

Reaksi yang terjadi :





Jumlah CO<sub>2</sub> terabsorpsi sebesar 99% dan MDEA dapat digunakan lagi (recycle) [3].

#### 4. *Pressure Swing Adsorption*

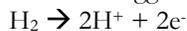
Kemurnian H<sub>2</sub> yang diperoleh sebesar 99,9%, H<sub>2</sub> recovery 70%, dan menggunakan adsorben *Zeolite-Activated Carbon* [4].

### 3. Hasil Dan Pembahasan

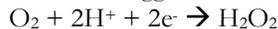
Jika suplai hidrogen dilakukan secara terus-menerus (kontinyu), maka fuel cell akan menghasilkan tegangan listrik secara terus-menerus juga. Pada intinya persediaan hidrogen harus tetap dijaga tetap ada (tidak pernah kosong). Selama proses reaksi yang terjadi didalam fuel cell, maka akan dihasilkan energi listrik, air dan panas. Hasil yang dikeluarkan oleh fuel cell berupa H<sub>2</sub>O (air). Hal inilah yang menjadi alasan kenapa fuel cell ramah dengan lingkungan. Berbagai macam jenis fuel cell telah dikembangkan, disini kami memilih PEMFC atau *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell*. Jenis elektrolit yang digunakan pada PEMFC berupa membran. Suhu optimal operasi pada rentang 30C – 100°C.

Reaksi yang terjadi pada anoda dan katoda antara lain :

Anoda menggunakan katalis C/Pt, reaksi dianoda :

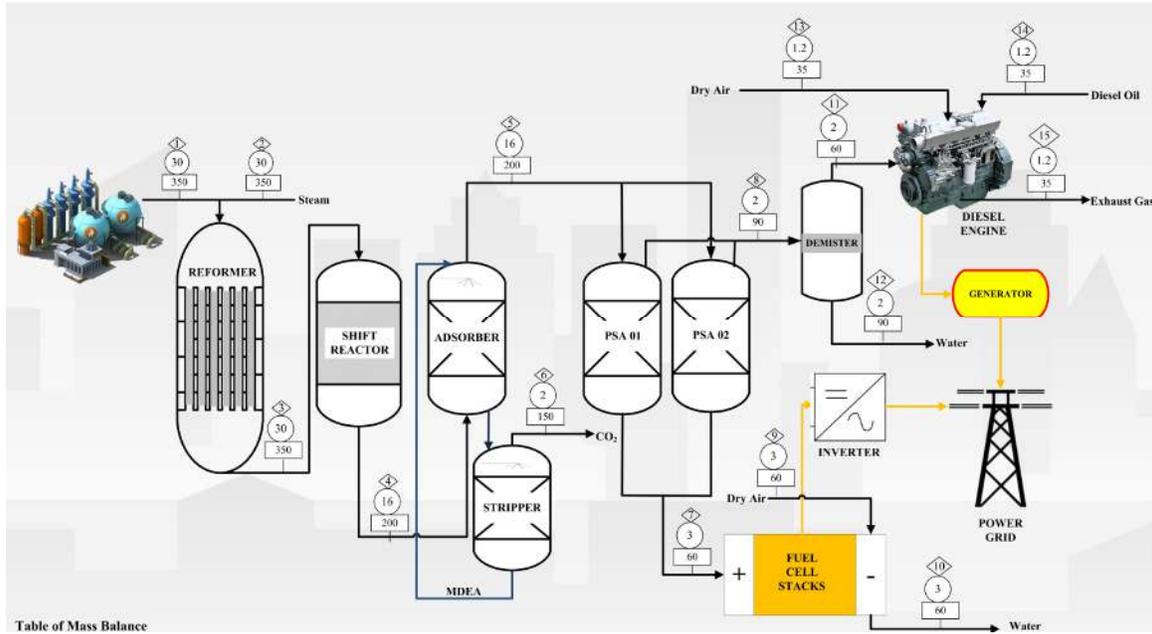


Katoda menggunakan katalis C/Pt, reaksi dikatoda :



Efisiensi PEMFC sebesar 60%, cell voltage 0,7V, arus 180A

Dalam analisa perhitungan ini, desain sistem fuel cell akan digunakan untuk komunitas dengan 20 rumah, dengan desain daya masing-masing rumah sebesar 450 watt pada tegangan 220 volt. Efisiensi AC sebesar 98%. Efisiensi inverter sebesar 95%. Efisiensi Fuel cell sebesar 60%. Gas hidrogen dengan kemurnian 99,999% digunakan sebagai 'bahan bakar' dan disimpan dalam bentuk gas bertekanan tinggi dan akan digunakan pada PEMFC pada tekanan 3 bar. Oksidan yang diperlukan untuk reaksi disediakan dari udara dengan tekanan 3 bar. Fuel cell stack beroperasi pada tekanan atmosferis. Dari perhitungan yang dilakukan, untuk penyediaan listrik selama satu bulan operasi diperlukan bahan baku 6595,20 kg/bulan, udara 66607,20 Nm<sup>3</sup>/bulan, hidrogen dan ukuram tangki penyimpanan 107040,00 liter (pada tekanan 700 bar). Hidrogen yang telah diperoleh disimpan kedalam *Compressed Gas* (700 bar) jenis komposit Riis et al, 2005. Tangki berbentuk tabung silinder ini dipilih karena ringkas dan tidak menggunakan area yang luas, tahan korosi. Disisi lain, proses penyimpanan kedalam tangki ini cukup sulit sehingga biaya yang dikeluarkan masih tergolong tinggi. Berikut adalah diagram alir pembuatan listrik dari hidrogen yang diperoleh dari bahan baku gas alam yang ditunjukkan pada gambar 1.2.



Gambar 1. Diagram alir pembuatan listrik dari hidrogen yang diperoleh dari bahan baku gas alam

## Tantangan

Fuel cell memang memiliki beragam kelebihan, namun sistem fuel cell masih memiliki kekurangan yang harus segera diteliti dan diperbaiki antara lain :

1. Mahal  
Fuel dikatakan mahal karena tidak semua bahan baku dapat langsung digunakan. Bahan baku yang digunakan memerlukan *treatment* yang berbeda sesuai dengan karakteristik bahan itu sendiri sehingga didapatkan hidrogen dengan kemurnian yang cukup tinggi. Selain itu, harga bahan elektroda (Platina) yang tergolong mahal.
2. Sensitif kontaminasi  
Ketika ada zat lain selain hidrogen ikut kedalam fuel cell maka secara otomatis akan mengurangi performa fuel cell
3. Distribusi yang sulit  
Sarana dan prasarana yang digunakan selama proses pembuatan, penyimpanan hingga proses penyaluran masih tergolong sulit karena belum efisien
4. H<sub>2</sub> merusak pipa  
Masih adanya kemungkinan besar gas hidrogen mampu merusak sistem perpipaan

## 4. Kesimpulan

Indonesia merupakan negara yang memiliki banyak pulau yang terpencar. Keberadaan pulau terpencar ini membuat penyedia listrik negara belum mampu menyuplai energi listrik hingga pelosok. Fuel cell merupakan teknologi yang tepat untuk dikembangkan dimasa depan. Fuel cell mampu diaplikasikan sebagai sumber alternatif pembangkit energi listrik khususnya diimplementasikan untuk daerah terpencil yang ada di Indonesia. Selain membantu dalam suplai energi listrik ke daerah terpencil, Fuel cell juga tidak menghasilkan gas emisi (Green Hous Gas / GHG emission) sehingga membantu dalam mengurangi pencemaran udara dilingkungan sekitar. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, untuk penyediaan listrik selama satu bulan operasi diperlukan hidrogen sebesar 1605,60 kg. Sedangkan kebutuhan udara sebesar 66607,20 Nm<sup>3</sup>. Ukuran tangki penyimpan hidrogen sebesar 107040,00 liter pada tekanan 700 bar.



## Referensi

- [1] U.S. Department of Energy, "Fuel cells fact sheet," *Fuel cells fact sheet*, p. 2, 2015.
- [2] L. Kaiwen, Y. Bin, and Z. Tao, "Economic analysis of hydrogen production from steam reforming process: A literature review," *Energy Sources, Part B Econ. Plan. Policy*, vol. 13, no. 2, pp. 109–115, 2018.
- [3] J. C. Molburg and R. D. Doctor, "Hydrogen from Steam-Methane Reforming with CO<sub>2</sub> Capture," *20th Annu. Int. Pittsburgh Coal Conf.*, p. 20, 2003.
- [4] C. A. Grande, "Advances in Pressure Swing Adsorption for Gas Separation," *ISRN Chem. Eng.*, vol. 2012, pp. 1–13, 2012.





Pemakalah :

Lutfi Mufidatul Hasanah

13.50 – 14.05 WIB

<p>Pertanyaan :</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Hidrogen permeable limite itu berbahaya pada konsentrasi tertentu, dengan tekanan 300 bar apakah membahayakan? Bagaimana untuk energi yang dibutuhkan SMR sendiri? (Yuono)</li><li>2. Saran : karena baru study literature, studi keseimbangan perlu kondisi operasinya juga. Bagaimana perbandingan antara yang menggunakan fuel cell dan yang langsung generator? (Joko Waluyo)</li><li>3. Apakah energi fuel cell dapat disimpan? (Sperisa Distantina)</li></ol>	<p>Jawaban :</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. - Belum study literature tentang dampak yang akan terjadi, karena baru study literature mengenai potensinya. - Sudah dihitung 10% dari perhitungan total. Untuk degenerasi dan total belum ada. - Biaya untuk membuat H<sub>2</sub> hasil akhirnya Rp 400,-.</li><li>2. Penelitian hanya dibatasi pada Fuel Cell dan untuk design fuel cell sendiri masih belum.</li><li>3. Bisa disimpan ditempat khusus yaitu membran sebagai tempat mereaksikan H<sub>2</sub> dan fuel cell.</li></ol>
--	---