

FUELCELL HIDROGEN TIPE PEM SEBAGAI SUMBER ENERGI MOBIL LISTRIK ULTRA RINGAN

Ganesha T Chandrasa*, Zuhail **, Rinaldy Dalimi**, Agus R Hoetman*

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

Email: ganeshac@yahoo.com

** Profesor, Fakultas Teknik-Universitas Indonesia, Jakarta, Indonesia

ABSTRAK

Fuelcell merupakan penghasil listrik yang bersih, menggunakan umpan gas hidrogen dan merupakan alternatif bagi sistem konvensional yang menggunakan bahan bakar minyak (BBM). Negara-negara maju berlomba-lomba mengembangkan mobil listrik dengan menggunakan fuelcell untuk menghadapi krisis BBM dan mengurangi polusi udara global yang semakin mengkuatirkan. Secara teoritis fuelcell mempunyai efisiensi energi melebihi efisiensi motor bakar jenis apapun. Untuk keperluan transportasi, fuelcell tipe *Proton Exchange Membrane* (PEM) dianggap aman, karena temperatur operasi yang rendah antara 40-80°C. Namun karena harga gas hidrogen masih mahal perlu di rancang sistem mobil listrik fuelcell yang seefisien mungkin dengan mempertimbangkan berat kendaraan ringan mungkin agar diperoleh kecepatan yang diinginkan, dan memiliki efisiensi motor listrik yang baik, sehingga keekonomian kendaraan yang dirancang dapat dicapai. Pada penelitian ini fuelcell tipe PEM berdaya 500 Watt diteliti kemungkinan aplikasinya pada mobil listrik ultra ringan.

Kata kunci: fuelcell, hidrogen, mobil listrik, Proton Exchange Membrane (PEM)

ABSTRACT

Fuel cell is a clean electric generator using hydrogen as an input. Fuel cell system is one of the alternatives for conventional electric generator that use fossil fuel. Fuel cell efficiency exceeds any internal combustion engines. Most industrial countries compete in the fuel cell development for vehicles to anticipate fossil fuel crisis and the growing of global air pollution. Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) is considered safe for transportation due to low operating temperature (40 – 80°C). Since hydrogen is expensive, it is needed to optimize vehicle design to get as light as possible vehicle to reach speed targeted, having a good motor efficiency and economic in price. This research assessed 500 watt PEMFC to see a possibility to be applied for ultra light electric vehicle.

Keywords: electric car, fuel cell, hydrogen, Proton Exchange Membrane (PEM)

1.PENDAHULUAN

Penggunaan sistem pembangkit listrik fuelcell pada alat transportasi mulai banyak diteliti di USA, Jepang, Eropa dan beberapa negara industri baru. Sistem fuelcell dicoba diterapkan pada jenis-jenis alat transportasi seperti; bus, mobil pribadi, scooter, bahkan kendaraan militer seperti kapal laut dan kapal selam. Kelebihan utama sistem fuelcell adalah tidak mengeluarkan polutan dan tidak berisik.

Di Indonesia, penelitian fuelcell dan pengembangan mobil listrik sudah dilakukan sejak tahun 1990 oleh berbagai institusi dan universitas di Indonesia seperti; BPPT, LIPI, FT-UI, ITS, ITB dan lainnya. Namun karena pendanaan yang kurang menunjang maka hanya sedikit produk yang dihasilkan dan diterapkan secara sangat terbatas. Kendala teknis seperti misalnya keterbatasan baterai penyimpan listrik menyebabkan rendahnya jarak tempuh kendaraan. Waktu yang diperlukan untuk pemuatan ulang beterei juga lama yang menyebabkan mobil listrik konvensional ini kurang populer dibandingkan mobil konvensional yang menggunakan BBM. Penelitian yang diuraikan berikut ini meliputi efisiensi, kebutuhan hidrogen dan aspek teknis lainnya yang berhubungan dengan rancangan mobil listrik ultra ringan

2. METODE DAN BAHAN

Penelitian dilakukan setelah melakukan tahapan studi literatur tentang mobil listrik, mobil fuelcell, dan teori fuelcell. Selanjutnya dilakukan pengujian, pengambilan data dan analisa hasil uji laboratorium, kemudian menetapkan karakterisasi pembangkit listrik fuelcell. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Fuelcell, Balai Besar Teknologi Energi – BPPT di kawasan PUSPIPTEK, Serpong. Bahan yang diteliti adalah fuelcell jenis Proton Exchange Membrane (PEM) berkapasitas daya 500 Watt yang memiliki *stack* sebanyak 66 buah.

Fasilitas penunjang penelitian adalah:

- Model Sistem Propulsi Kendaraan Listrik
- Peralatan Pengukuran Listrik
- Hidrogen Flowmeter, dan perlengkapan listrik lain.

Sistem pemasok energi listrik Fuelcell PEM 500 Watt ditampilkan pada Gambar 1. Fasilitas pengujian sistem fuelcell diberikan dalam Gambar 2.



Gambar 1. Fuelcell PEM 500

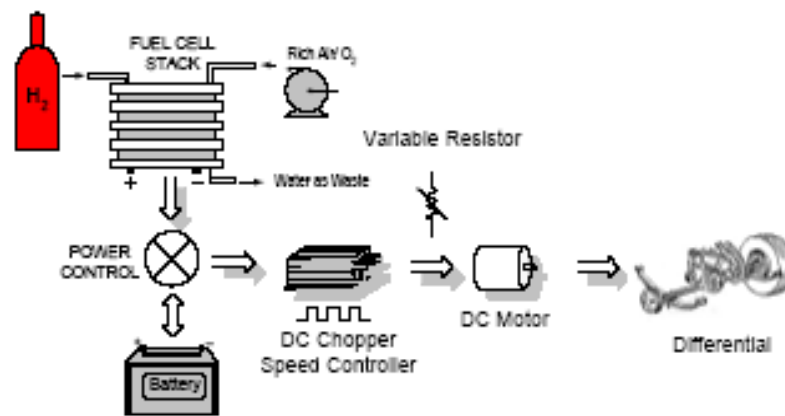


Gambar 2. Uji Sistem Fuelcell

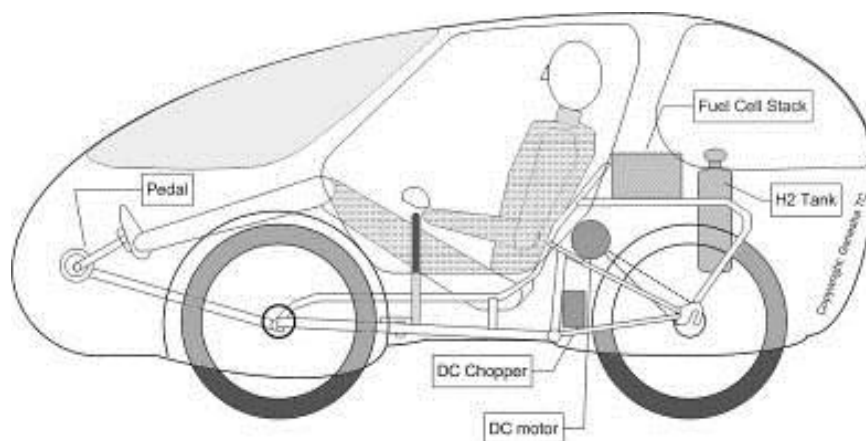
3. STUDI LITERATUR DAN RANCANGAN

3.1. Fuelcell Untuk Mobil Listrik

Pada prinsipnya mobil listrik fuelcell mirip dengan mobil listrik konvensional, namun sebagai pengganti sumber tenaga digunakan pembangkit listrik fuelcell dan penyimpan gas hidrogen. Diperlukan juga pengatur daya yang mengatur suplai listrik dari fuelcell, Super kapasitor digunakan untuk menstabilkan suplai arus, baterai kapasitas kecil juga dapat digunakan sebagai suatu sistem hibrida. *DC chopper* akan mengatur besar tegangan yang masuk ke motor listrik sesuai dengan keinginan pengguna sehingga didapat kecepatan motor yang bervariasi, selanjutnya putaran motor diteruskan ke diferensial / roda kendaraan. Gambar 3 memperlihatkan ilustrasi disain sistem mobil listrik fuelcell hasil rancangan penulis . Konsep rancangan bentuk dari mobil fuelcell ultra ringan diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 3. Sistem Mobil Listrik Fuelcell yang dirancang



Gambar 4. Konsep Rancangan Mobil Fuelcell Ultra Ringan

3.2. Formulasi Kebutuhan Daya

Total gaya dalam menempuh perjalanan disebut sebagai total gaya jelajah atau *driving resistance* (F_w) yang merupakan penjumlahan dari gaya gelinding atau *rolling resistance* (F_{Ro}), *drag resistance* (F_L) dan gaya kemiringan/tanjakan jalan (F_{St}) dan dituliskan dalam persamaan berikut ini (Bosch, 1986):

$$F_w = F_{Ro} + F_L + F_{St} \quad (1)$$

Masing-masing gaya di ekspresikan dengan persamaan berikut;

$$F_{Ro} = f \times m \times g \quad (2)$$

$$F_L = 0.0386 \rho c_w A(V + V_0)^2 \quad (3)$$

$$F_{St} = m \times g \sin \alpha \quad (4)$$

dimana,

- f = *coefficient of rolling resistance* (untuk jalanan beraspal $f = 0.015$)
- m = masa kendaraan (kg)
- g = gravitasi (9.81 m/s^2)
- ρ = kerapatan udara (1.202 kg/m^3)
- c_w = *drag coefficient*
- A = luas tampak muka kendaraan (untuk mobil penumpang: $A = 0.9 * \text{track} * \text{height}$)
- V = kecepatan (km/jam),
- V_0 = kecepatan angin (m/s)
- α = sudut tanjakan/turunan.

Sebagai referensi, Bosch (1986), mendapatkan bahwa nilai F_L untuk mobil-mobil modern, pada persamaan (3) berkisar antara 223 hingga 378 Newton pada kecepatan 80 km/jam. Daya tanjakan (*motive power*) untuk melintas di jalan dengan kemiringan tertentu sebagai fungsi kecepatan dituliskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$P_{st} = \frac{F_{st} \times V}{3600} = \frac{(m \times g \times \sin \alpha) \times V}{3600} \quad (5)$$

dimana,

- P_{st} = daya tanjakan (kW)
- F_{St} = gaya tanjakan (N)
- V = kecepatan (km/jam)

Gaya jelajah (F_w) akan naik secara menyolok dengan naiknya sudut tanjakan . Hal ini bisa diatasi dengan ratio gigi yang lebih besar. *Motive force* (F) untuk mengatasi gaya jelajah di tuliskan dalam persamaan sebagai berikut ,

$$F = \frac{M \times u}{r} = \frac{P \times \eta_g}{V} \tag{6}$$

dimana: η_g = efisiensi gigi.

Bosch, (1986) mendapatkan η_g berkisar antara 0.88 - 0.95

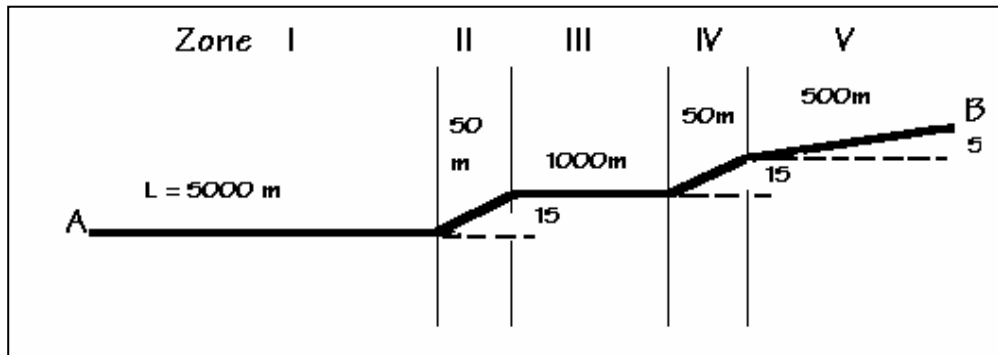
M = torsi mesin (N.m)

P = daya (Watt)

r = jari-jari roda (m)

u = ratio transmissi

V = kecepatan dalam satuan (m/s)

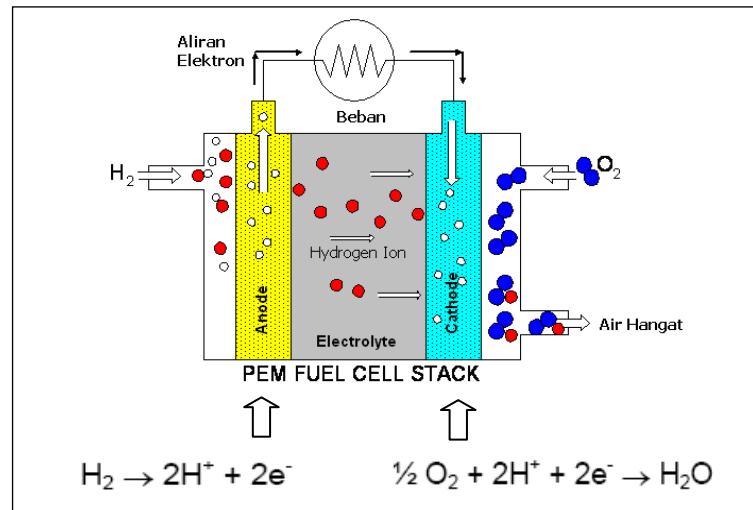


Gambar 5. Hasil pengamatan topografi jalan raya yang akan di lalui (hasil penelitian di lapangan)

Setelah diketahui *motive force* (F) untuk mengatasi total gaya jelajah maka dapat ditentukan besar daya motor listrik dan jenis motor listrik yang harus digunakan menyesuaikan keinginan perancang dan daerah yang harus dijelajahi. Untuk tujuan desain perlu digambarkan analisa topografi jalan yang akan dilalui. Pengamatan dilapangan mendapatkan pilihan topografi yang diinginkan dan ditampilkan dalam Gambar 5. Setelah itu baru dapat ditentukan kapasitas daya yang perlu disediakan oleh fuelcell. Dari perhitungan dengan menggunakan persamaan-persamaan (1) hingga persamaan (6) didapatkan daya nominal yang diperlukan untuk mengatasi gaya-gaya tersebut yaitu berkisar sebesar 300 Watt.

3.3. Fuelcell tipe PEM

Prinsip kerja Pembangkit Listrik Fuel Cell pada dasarnya adalah proses elektrokimia tanpa terjadi pembakaran (Hirschenhofer, dkk., 2000; Larminie J. dan A.Dicks, 2003) dan diilustrasikan seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Prinsip Kerja Fuelcell PEM

Stack suatu fuelcell PEM terdiri dari dua buah elektroda, anoda dan katoda. Keduanya dipisahkan oleh *Polymer Electrolyte Membrane* (PEM). Setiap elektroda dilapisi dengan *platinum-based catalyst*. Sebagai bahan bakar digunakan gas hidrogen bertekanan dan dilewatkan ke anoda (-). Sebagai oksidan digunakan oksigen yang diambil dari udara dan dialirkan ke katoda (+) dengan menggunakan kompresor.

Akibat adanya katalis platinum, molekul H₂ terpecah menjadi dua proton dan dua elektron. Arus elektron ini dialirkan melalui rangkaian listrik agar menghasilkan arus listrik. Proton akan menembus lapisan membrane, dan bergabung di katode dengan elektron dan oksigen dari udara membentuk air bersih. Dari proses ini dihasilkan panas dan air bersih.

3.4. Efisiensi Fuel Cell

Efisiensi thermal dari suatu alat konversi energi ditentukan dengan jumlah energi yang dapat digunakan dibandingkan dengan energi termal hasil proses kimia (ΔH) yang selanjutnya akan dilepas ketika suatu bahan bakar direaksikan dengan suatu oksidan. Efisiensi proses ini dituliskan dalam persamaan berikut ini:

$$\eta_p = \frac{\text{Energiguna}}{\Delta H} \tag{7}$$

Menurut Hirschenhofer, dkk. (2000), akibat terjadinya reaksi elektrokimia terjadi perubahan energi bebas 'Gibbs', ΔG , dan ini merupakan energi listrik yang dapat digunakan.

Efisiensi ideal dituliskan sebagai berikut:

$$\eta_{ideal} = \frac{\Delta G}{\Delta H} \tag{8}$$

Energi bebas yang digunakan diperoleh dari reaksi ;



Dan dituliskan sebagai berikut:

$$\Delta G_T^o = G_{\text{H}_2\text{O}(l)}^o - G_{\text{H}_2}^o - \frac{1}{2}G_{\text{O}_2}^o \quad (10)$$

Hirschenhofer, dkk. (2000), menjelaskan bahwa pada kondisi standar 25°C (298K) dan tekanan 1 atm, $\Delta H = \Delta H_o$, energi termal hasil proses reaksi kimia hidrogen/oksigen adalah 285.8 kJ/mole. Energi bebas yang tersedia yang dapat digunakan adalah 237,1 kJ/mole. Oleh sebab itu efisiensi ideal fuelcell yang menggunakan umpan hidrogen dan oksigen murni adalah:

$$\eta_{ideal} = \frac{237.1}{285.8} = 0.83 \quad (11)$$

Menurut Hirschenhofer, dkk. (2000, hal 2-3), tegangan ideal fuelcell (V_{ideal}) pada kondisi ideal adalah 1,229 Volt. Efisiensi termal ideal dari suatu fuelcell yang beroperasi pada suatu tegangan tertentu (V_{cell}) berdasarkan nilai pemanasan tertinggi dari hidrogen diberikan dengan persamaan;

$$\eta_{ideal} = 0.83 \times \frac{V_{cell}}{V_{ideal}} = 0.83 \times \frac{V_{cell}}{1.229} = 0.675 \times V_{cell} \quad (12)$$

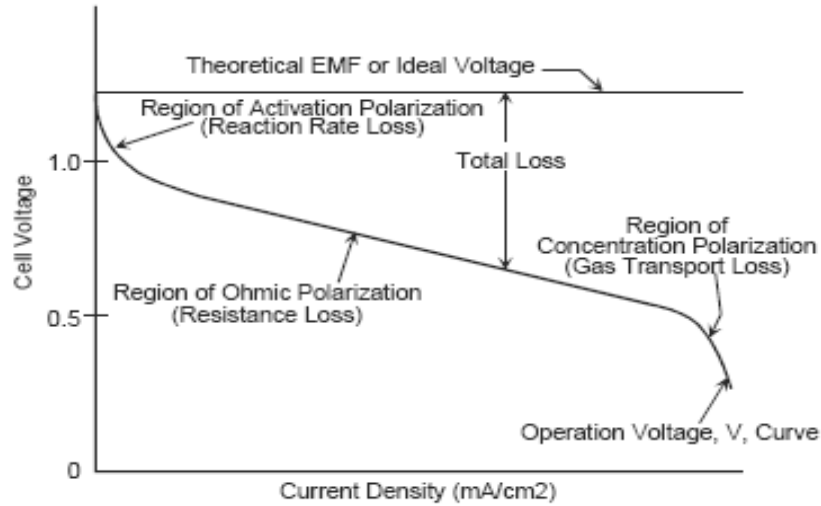
Efisiensi aktual (η) dari fuelcell dapat di ekspresikan dengan rasio tegangan operasi sel (V_{aktual}) terhadap tegangan sel ideal (V_{ideal}).

$$\begin{aligned} \eta_{aktual} &= \frac{\text{Energi guna}}{\Delta H} = \frac{\text{Energi guna}}{(\Delta G / 0.83)} \\ &= \frac{\text{Volts}_{aktual} \times \text{Current}}{\text{Volts}_{ideal} \times \text{Current} / 0.83} \\ &= \frac{0.83 \times V_{aktual}}{V_{ideal}} \end{aligned} \quad (13)$$

Tegangan operasi aktual (E) lebih kecil dibandingkan tegangan idealnya akibat rugi-rugi polarisasi sel dan rugi iR , sehingga diperoleh hubungan $V_{aktual} = E - \text{Rugi rugi}$.

Fuelcell dapat dioperasikan pada densitas arus yang berbeda, yang diekspresikan sebagai mA/cm^2 . Tegangan sel menentukan efisiensi fuelcell.

Pada saat densitas arus turun, daerah sel aktif harus dinaikkan untuk menghasilkan daya yang diperlukan. Akibatnya, investasi untuk fuelcell akan naik, tapi biaya operasinya turun. Hirschenhofer, dkk. (2000 hal. 2-5) memberikan hubungan antara kurva karakteristik tegangan/arus fuelcell pada kondisi ideal dan aktual, lihat Gambar 7.

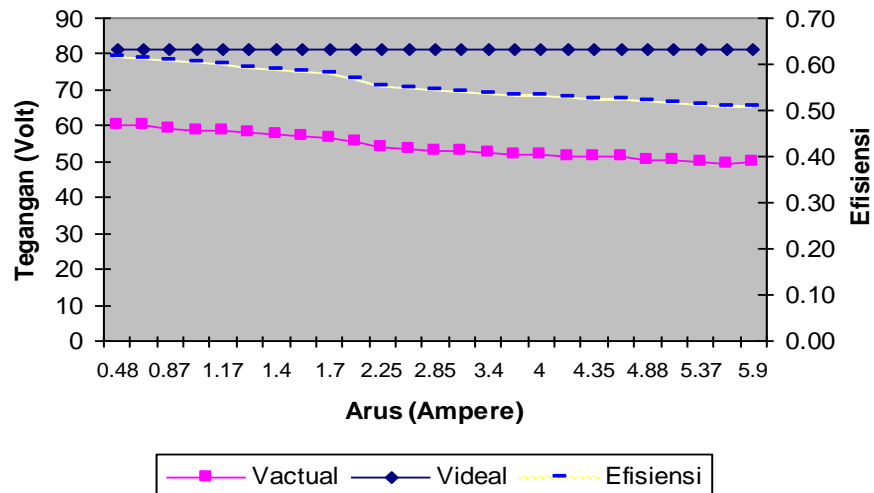


Gambar 7. Kurva karakteristik tegangan vs arus di fuelcell,
 Sumber: Hirschenhofer, dkk. (2000 hal. 2-5)

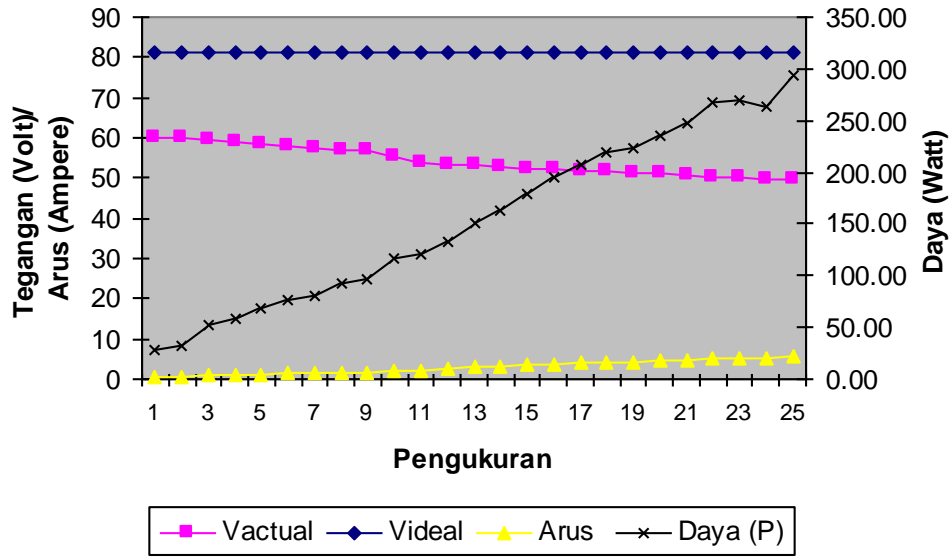
4. HASIL DAN ANALISIS PENGUJIAN .

Dari eksperimen dengan menggunakan bahan dan metode seperti diuraikan pada bagian 2, pengujian stack fuelcell PEM 500 watt yang memiliki 66 buah sel dengan beban bervariasi didapat data-data pengukuran yang kemudian diolah dan ditampilkan pada Gambar 8 dan 9.

Gambar 8, menunjukkan kurva hubungan antara polarisasi arus, tegangan dan efisiensinya pada suhu 33°C. Gas yang terpakai selama 1 jam dengan tekanan konstan sebesar 35 psi adalah sebanyak 120 liter (2 liter/menit). Gambar 9, memperlihatkan hasil pengukuran daya dalam 1 jam dan menampilkan hubungan antara arus dan tegangan .



Gambar 8. Kurva Polarisasi I-V , tegangan ideal, aktual dan efisiensi aktual



Gambar 9. Hubungan antara Arus, Tegangan dan Daya FC PEM 500.

4.1. Analisis I.

Stack fuelcell yang diuji terdiri dari 66 sel maka dapat di hitung bahwa tegangan ideal fuelcell tersebut adalah $(66 * 1,229 =) 81,11$ Volt. Dengan memperhatikan hasil percobaan yang ditampilkan dari Gambar 8 dan Gambar 9, dan dengan menggunakan persamaan (13) didapatkan efisiensi (η) fuelcell berkisar antara 0,6 hingga 0,51. Effisiensi menurun dengan semakin naiknya daya beban pada temperatur 33°C yang di asumsikan mendekati kondisi sebenarnya di Jakarta pada siang hari.

4.2. Analisis II

Berdasarkan persamaan (1) sampai dengan persamaan (6) dan digunakan sudut tanjakan (α) 15° (lihat Gambar 5) pada rancangan ini serta berdasarkan hasil uji seperti diberikan dalam Gambar 9, maka ditentukan bahwa berat kendaraan berikut penumpang harus lebih kecil dari 125 kg. Dengan motor listrik yang dapat digunakan dari jenis DC *servodisk* motor berkapasitas 300 Watt, diperoleh kecepatan maksimum yang dapat ditempuh adalah sekitar 30 km/jam. Kecepatan kendaraan dapat disesuaikan dengan topografi jalan dan karakter jelajah yang dapat divariasikan kemudian. Jika diharapkan kecepatan maksimal dengan daya maksimal 275 Watt selama 1 jam, maka dibutuhkan energi 275Wh dimana diperlukan gas hidrogen sebanyak 120 liter. Satu tabung hidrogen ukuran kecil yang tersedia dipasaran (berat tabung kosong 5 kg) dapat memuat 1000 liter gas hidrogen bertekanan.

5. KESIMPULAN

1. Untuk aplikasi sebenarnya perlu diperhatikan bahwa dengan menggunakan fuelcell PEM maka efisiensi aktual yang dicapai adalah sekitar 50-60%. Efisiensi ini akan menurun dengan semakin besarnya daya. Namun demikian tetap lebih tinggi jika dibandingkan dengan motor konvensional yang hanya 20%.
2. Untuk perancangan selanjutnya perlu digunakan asumsi pembagian faktor 0.6 terhadap kapasitas daya motor agar pasokan daya dapat sepenuhnya disediakan oleh sistem fuelcell.
3. Dalam 1 jam percobaan jika kecepatan maksimal 28 km/jam maka jarak yang dapat ditempuh adalah 28 km.

DAFTAR PUSTAKA

- Bosch (1986), *AUTOMOTIVE HANDBOOK*, 2nd ed., SAE ISBN 3-518-6, Federal Republic of Germany.
- Hirschenhofer, dkk. (2000), *FUEL CELL HANDBOOK*, 5th ed, EG&G Services Parson Corp., US DOE West Virginia, USA.
- Koll Morgen (2005), *SERVODISC CATALOG*, Kollmorgen motion technologies group, Commack, New York.
- Larminie J. dan A.Dicks (2003), *FUEL CELL SYSTEM EXPLAINED*, 2th ed., John Willey & Sons Ltd., England .

Pustaka selanjutnya sebagai bahan bacaan.

- Avallone EA, Baumeister T III (1987), *MARKS'; STANDARD HAND BOOK FOR MECHANICAL ENGINEERS*, 9TH ed., Mc Graw-hill Book Company, New York - London.
- Christina Haraldsson (2005), *ON DIRECT HYDROGEN FUEL CELL VEHICLES MODELLING AND DEMONSTRATION*, KTH Department of Chemical Engineering and Technology Energy Processes, Royal Institute of Technology , Sweden.
- Michael Wang et al.(2002), *FUEL CHOICES FOR FUEL-CELL VEHICLES: WELL TO-WHEELS ENERGY AND EMISSION IMPACTS*, Center for Transportation Research Argonne National Laboratory, Proc. of Fuel Cell Seminar 2002, Palm Springs, California Nov.18-21, 2002. This paper was also published in *Journal of Power Sources* Volume 112(2002):pp.307-21. Email contact : mqwang@anl.gov , phone (630) 252-2819, fax.: (630)252-3443.
- Tony Markel, Matthew Zolot, Keith B. Wipke, and Ahmad A. (2003), *ENERGY STORAGE SYSTEM REQUIREMENTS FOR HYBRID FUEL CELL VEHICLES*, Proc. of Advanced Automotive Battery Conference , Nice, France , June 10-13, 2003. Contact: NREL, 1617 Cole Blvd.Golden, Colorado 80401. <http://www.ctts.nrel.gov/>