

Penelitian Hidrogen sebagai Bahan Bakar Sepeda Motor Listrik yang Berkesinambungan

Ganesha Tri Chandrasa

B2TE -BPPT (Energy Technology Laboratory)

email: ganesha_b2te@webmail.bppt.go.id

Abstrak - PENELITIAN HIDROGEN SEBAGAI BAHAN BAKAR SEPEDA MOTOR LISTRIK YANG BERKESINAMBUNGAN. Hidrogen adalah sumber energi yang bersifat terbarukan yang dapat diperoleh dari alam dengan berbagai teknik pendauran, seperti elektrolisa air, pengubahan (reforming) bahan bakar fosil, dan bahan bakar nabati. Penggunaan bahan bakar ini untuk berbagai peralatan pembangkit energi listrik seperti sel bahan bakar (Fuel cell) yang digunakan pada alat transportasi dapat mengurangi polusi udara secara signifikan karena tidak adanya zat buang yang bersifat polutif. Untuk mengetahui kemungkinan dan ekonomi dari operasional penggunaan Hidrogen sebagai sumber energi dicoba dibuat suatu alat transportasi jenis sepeda-motor yang berpenggerak mesin listrik DC 500Watt, dengan sistem pembangkit fuel cell (FC) berkapasitas 500Watt. Dari penelitian ini dapat diketahui pola pemakaian energi berdasarkan pola kecepatan kendaraan yang berubah-ubah, kecepatan maksimum kendaraan, dan biaya penggunaan per kilometer penggunaan sepeda motor tersebut. Penelitian dilakukan baik di laboratorium maupun berdasarkan uji jalan.

Kata kunci: Fuel cell, Motor listrik, daur ulang, energi terbarukan

Abstract – HYDROGEN RESEARCH FOR SUSTAINABLE FUEL OF ELECTRIC MOTORCYCLE. Hydrogen is a source of renewable energy that can be harnessed from the nature with various harnessing technique, such as; water electrolysis, fossil fuels and bio-fuels reforming. The use of hydrogen for power generations such as, Fuel Cell system that applied in transportation means for instance, can be significantly reduced air pollution, because does not emit pollutive exhaust gas. The research has been conducted at Energy technology center (B2TE-BPPT) by engineering an electric motorcycle with 500 watt DC motor and powering with 500 Watt PEM-FC. From the research in the laboratory and the road test, obtained some data that usefull for undertanding patterns of; energy consumption due to speed patterns, maximum speed, and economy of distance travel per kilometer of the use of the hydrogen – fuel cell for the motorcycle.

Keywords: Fuel cell, electric motor, recycle, renewable energy

I. PENDAHULUAN

Hidrogen (H_2) adalah unsur yang terkandung di alam, yang merupakan sumber energi yang bersih namun tidak dapat ditambang seperti halnya sumber energi konvensional (BBM). Berbeda dengan energi fosil, hidrogen merupakan sumber energi yang terbarukan karena dapat di peroleh dari bahan bakar fosil (gas alam),

maupun dari sumber lain seperti air, sumber nabati, maupun secara biologi dengan menggunakan bakteri. Hidrogen sebagai sumber energi dapat digunakan langsung (dibakar), dicampurkan ke bahan bakar minyak untuk menaikkan oktan, ataupun dikonversikan menjadi energi listrik melalui proses elektrokimia dengan menggunakan reaktor sel bahan bakar (fuel cell). Pembuatan hydrogen dari gas alam mempunyai efisiensi yang tinggi (80%), namun masih menyisakan CO_2 yang merupakan polutant. Sumber energi lain seperti air, bahan bakar nabati, juga dapat dilakukan konversi hidrogen dengan hasil yang lebih bersih namun dari sisi biaya masih lebih tinggi dibandingkan dari sumber energi fosil. Bervariasinya sumber energi yang dapat dirubah menjadi hidrogen, dan sedikitnya unsur polutan yang dihasilkan merupakan kelebihan sumber energi ini untuk menjadi sumber energi masa depan yang terbarukan.

Alat transportasi adalah media yang banyak mengonsumsi bahan bakar fosil saat ini, dan merupakan penyumbang utama polusi udara dan pemanasan global, khususnya dikota-kota besar dunia. Di Jakarta, ibukota negara Republik Indonesia, khususnya pada tahun 2006 menurut data Biro Pusat Statistik (BPS), terdapat 7.773.957 kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar minyak (BBM). Dimana, 5.136.619 unit diantaranya adalah sepedamotor, yang merupakan alat transportasi yang populer bagi semua lapisan masyarakat. Jumlah sepeda motor meningkat 1035 unit setiap harinya atau 5 kali lipat pertumbuhan jumlah mobil pribadi, dikhawatirkan di masa depan merupakan salah satu sumber penyumbang polusi udara dan peningkatan pemakaian BBM yang sumber depositnya semakin menipis di bumi ini.

II. HIDROGEN DAN SEPEDA MOTOR LISTRIK FUEL CELL SEBAGAI ALTERNATIF

Gas Hidrogen (H_2) merupakan sumber energi yang terkandung dialam namun tidak dapat langsung diperoleh layaknya bahan tambang, gas ini dapat diperoleh melalui proses elektrokimia bahan cair seperti air (H_2O) dengan teknik elektrolisa, maupun proses perubahan (reforming) sumber energi hydrocarbon dengan berbagai teknik. Berbagai teknik tingkat lanjut dapat menghasilkan gas Hidrogen meskipun jauh dari tingkat keekonomian seperti halnya keekonomian bahan bakar konvensional (BBM). Oleh karena sifatnya yang fleksibel, dapat diproduksi dari berbagai sumber alam, Hidrogen dapat

TABEL 1.
BERBAGAI METODE PRODUKSI HIDROGEN ([HTTP://EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/HYDROGEN _PRODUCTION](http://en.wikipedia.org/wiki/hydrogen_production)).

No.	SUMBER	METODE	PROSES REAKSI	TEMP.	KETERANGAN
1	Hydrocarbon	a. Fossil fuel reforming (gas alam, bensin, dll)	$CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3 H_2 + 191.7 \text{ kJ/mol}$	700-1100°C	panas didapat dari membakar sebagian methane
		b. Carbon Monoxide	$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2 -40.4 \text{ kJ/mol}$	130°C	reaksi water gas shift
		c. Kvaemer-Process	Carbon black&hydrogen process		dari liquid hydrocarbon
		d. Batu bara	Gasifikasi batubara ; Syngas dan methane		hydrogen terdapat pada syngas
		e. Fermentasi	proses bakteri (anaerobic)		
2	Air	a. Biologis	Algae process		
		b. Pemisahan dengan gelombang radio	air asin NaCl-H ₂ O , pada 13.56 MHz	25°C	dengan gelombang radio
		c. Elektrolisa air : 1. Elektrolisa tekanan tinggi 2. Elektrolisa temperatur tinggi: -Nuklir -Elektrolisa biokatalis	elektrolisa air dengan tekanan tinggi memanfaatkan panas buang reaktor dengan mikroba /beras, tomat, ganggang	850-1000°C	reaktor nuklir generasi IV (HTGR)
		d. Thermal 1. thermal matahari terfokus		800-2200°C	
		e. Produksi Kimiawi	(1) $Al + 3H_2O + NaOH \rightarrow NaAl(OH)_4 + 1.5H_2$ (2) $NaAl(OH)_4 \rightarrow NaOH + Al(OH)_3$ (3) $Al + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_3 + 1.5H_2$		sodium hydroxide sebagai katalis, aluminium dan campurannya dapat bereaksi dengan air menghasilkan gas hydrogen
		f. Produksi termokimia	Siklus: Cerium (IV) oxide-cerium(III) (CeO ₂ /Ce ₂ O ₃) Iron oxide cycle (Fe ₃ O ₄ /FeO) Sulfur-iodine (S-I) cerium-chlorine (CeCl) , dll.		thermolysis, tanpa menggunakan input energi listrik
		e.pemisahan air dengan photoelectro-chemical	menggunakan listrik dari sel photovoltaic		
3	Metode lain	photosynthesis dengan teknologi nano			menggunakan teknik energy terbarukan lainnya

disebut sebagai sumber energi yang berkesinambungan (*renewable*). Tabel 1. memperlihatkan berbagai teknik produksi Hidrogen dengan berbagai metode (sumber; http://en.wikipedia.org/wiki/hydrogen_production).

Pemanfaatan Hidrogen dengan pembangkit listrik fuel cell, dimana gas hidrogen direaksikan dengan oksigen menghasilkan listrik dan air hangat, merupakan teknik pemanfaatan yang mempunyai efisiensi tinggi (40-80%) jauh lebih tinggi dari efisiensi motor bakar yang hanya maksimum 20 % dan selebihnya terbuang berupa panas. Pembangkit listrik fuel cell ini juga dapat digunakan sebagai sumber energi listrik untuk alat-alat transportasi darat (electric vehicles) salah satunya adalah sepeda motor listrik yang mulai dikenal masyarakat Indonesia, yang umumnya masih menggunakan baterai jenis lead-Acid. Dengan menggunakan fuel cell, masalah klasik pada jangka waktu yang lama untuk *recharging* batere yang umumnya 4 - 8jam dapat dipersingkat hingga hanya 5 menit saja untuk mengisi ulang gas hidrogen pada tabung gas yang digunakan kendaraan, selanjutnya tabung gas ini berfungsi sebagai penyimpan bahan bakar untuk pembangkit fuel cell .

Menurut *Scientific American, 1999*, energy densitas pada fuel cell-hidrogen merupakan yang tertinggi dibandingkan dengan sumber energy fuel cell lainnya, terlebih jika dibandingkan dengan energi densitas pada jenis batere apapun. Tabel 2, memperlihatkan energi densitas hidrogen fuel cell dengan sumber energi lainnya.

Untuk mengetahui keekonomian dari pemanfaatan gas hidrogen ini pada kendaraan, dicoba dirancang dan dibuat sistem fuel cell pada sepeda motor listrik yang menggunakan motor listrik 500 Watt dari teknologi yang

telah beredar dipasaran, dan sistem pembangkit Fuel cell

TABEL 2.
PERBANDINGAN DENSITAS ENERGI HIDROGEN FUEL CELL DENGAN SUMBER ENERGI LAIN (SUMBER : SCIENTIFIC AMERICAN, JULI, 1999.)

JENIS SUMBER ENERGI	ENERGI ELEKTROKIMIA (Watt-jam)	
	/kg	/liter
FUEL CELL		
Decalin (C ₁₀ H ₁₈)	2.400	2.100
Liquid hydrogen	33.000	2.500
Lithium borohydride (LiBH ₄ dan 4H ₂ O)	2.800	2.500
Solid metal hydride (LaNi ₅ H ₆)	370	3.300
Methanol	6.200	4.900
Hydrogen graphite nanofibers	~16.000	~32.000
BATERE ISI ULANG		
Lead-Acid	30	80
Nickel-Cadmium	40	130
Nickel-metal hydride	60	200
Lithium-ion	130	300

berkapasitas 500 Watt dari Hpower, USA.

III. METODE DAN BAHAN

A. Metode

Penelitian di B2TE – BPPT ini dilakukan dengan metode;

1. Perancangan kendaraan dari sisi energi dan bobot
2. Pemilihan komponen
3. Pemasangan komponen
4. Pengujian di laboratorium
5. Pengujian di jalan raya

Dalam merancang kendaraan hal yang perlu diperhatikan adalah bobot total dari kendaraan harus dibuat seringan mungkin. Hal ini untuk mengatasi kesetimbangan energi, karena dengan bobot yang ringan maka diperlukan daya yang lebih kecil untuk menggerakkan kendaraan, sehingga energi listrik yang disediakan menjadi lebih sedikit. Disamping itu faktor kecepatan, percepatan, koefisien gesek, gelinding, dan topografi jalan yang akan dilalui merupakan perlawanan daya kendaraan yang harus dapat diatasi atau dipenuhi oleh mesin dan baterai dari kendaraan listrik tersebut. Formula yang umum digunakan bagi perancang kendaraan adalah sebagai formula dibawah ini;

$$P_w = mVa + C_{rr} mVg + \frac{1}{2} C_d A_f \rho_{air} V^3 \quad (1)$$

Dimana ;

- Pw : Daya (Watt)
- m : massa kendaraan beban penuh (kg)
- V : kecepatan kendaraan (km/jam atau m/det)
- a : percepatan kendaraan (m/det²)
- Crr : coefficient tahanan gelinding (roller resistance)
- g : percepatan gravitasi (m/det²)
- Cd : drag coefficient
- Ar : luas area frontal sepeda motor (m²)
- ?air : kerapatan udara (kg/m³)

dan daya perlawanan yang harus dapat diatasi adalah;

$$P(t) = P_{acc} + P_{grade} + P_{aero} + P_{rolling} + P_{bearing} \dots (2)$$

Dimana,

$$P_{acc} = (M_e \cdot dv(t)/dt) \cdot v(t) \quad \dots (3)$$

$$P_{grade} = W \cdot \sin(?) \cdot v(t) \quad \dots (4)$$

$$P_{aero} = [\frac{1}{2} ? C_d (?) \cdot A_v r(t)^2] \cdot v(t) \quad \dots (5)$$

$$P_{rolling} = [(C_o + C_1 v(t) + C_2 v(t)^2 + C_3 v(t)^3) \cdot W] \cdot v(t) \quad (6)$$

$$P_{bearing} = t_B \cdot S_w(t) \quad (7)$$

Dimana,

Me = masa equivalent, momen putar
3% dari berat kendaraan (1,03.W/g)

g = percepatan gravitasi

? = kerapatan udara

Cd(?) = koef. aerodinamis fungsi sudut ? yaw angin

A = luas area depan kendaraan

v(t) = kecepatan kendaraan fungsi waktu

vr(t) = kecepatan angin relatif fungsi waktu

Co, C1, C2, C3 = Koefisien gelinding

W = berat kendaraan

tB = perlawanan torsi bearing roda

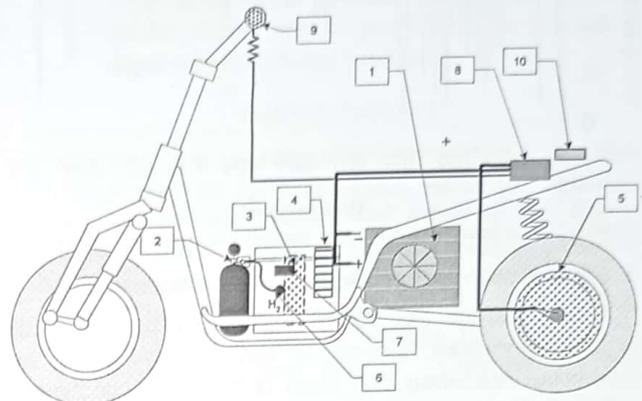
T = sudut kemiringan jalan

Sw(t) = Kecepatan roda fungsi waktu

B. Bahan yang digunakan

Dengan menggunakan formula-formula diatas, pada rancangan ini diperoleh daya mesin listrik yang dapat digunakan, yaitu minimum adalah 500Watt, dengan pengatur kecepatan jenis DC chopper, dan berat kendaraan total berikut penumpang maximum 125kg.

Sedangkan kecepatan maksimum yang dapat dicapai adalah 50km/jam dan pada tanjakan maksimum 15° sekitar 5-10km/jam. Sedangkan untuk fuel cell yang dapat digunakan adalah sebesar 500Watt, 48 Volt dari jenis PEM (proton Exchange membrane). Disain tata letak bahan dan komponen yang digunakan diperlihatkan pada gambar 1 dan tabel 3.



Gambar 1. Tata letak sepedamotor fuel cell

TABEL 3.
BAHAN/KOMPONEN

ITEM	QTY.	PART NO.	DESCRIPTION
1	1	PEM FC	500 Watt
2	1	NiMH H2 Tank	740 liter (at 150psi)
3	1	O2 pump	in the box
4	1	FC controller	12VDC
5	1	DC Motor	500Watt (hub brushless), 48 VDC
6	1	H2 inlet	
7	1	DC outlet	48 VDC
8	1	Speed Controller	DC Chopper 48 VDC
9	1	Throttle Control	48VDC resistor to mosfet
10	1	DC converter	48VDC to 12 VDC for instrument

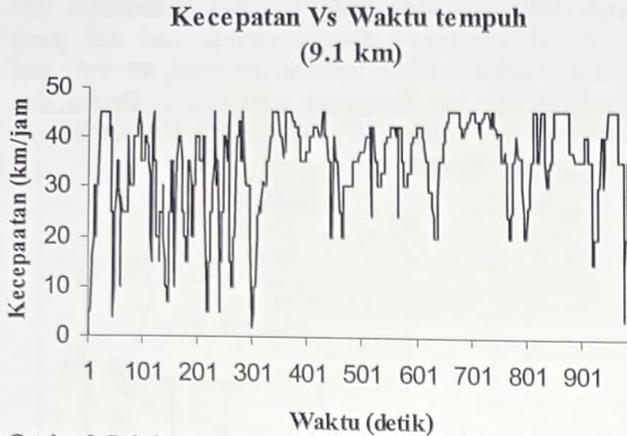
Selain itu untuk keperluan pengujian digunakan ;

1. Flowmeter digital (merek Alborg)
2. 3 buah multimeter fluke
3. Tachometer
4. Gas Hydrogen jenis UHP
5. Komputer sbg data logger

IV. HASIL PENGUJIAN

A. Kecepatan Vs Waktu Tempuh

Dari test yang dilakukan di B2TE, didapat grafik kecepatan dan waktu tempuh sepeda motor listrik ini, yaitu dalam uji jalan dari BSD ke Puspipstek (sejauh 9.1 km), ditempuh selama 1000 detik atau sekitar 15 menit, dengan kecepatan rata-rata 34 km. Gambar 2, memperlihatkan pola kecepatan kendaraan yang fluktuatif dikarenakan ketergantungan dari pola pengendalian, juga dari keadaan permukaan jalan dan kemacetan lalu lintas, sehingga tidak dapat diharapkan suatu grafik yang konstan dan stabil yang dapat memprediksi pola penggunaan energinya.



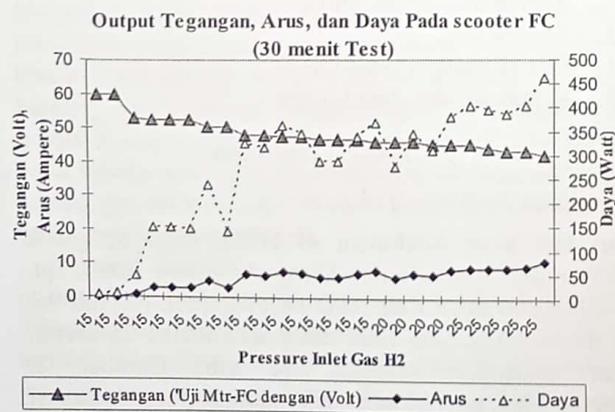
Gambar 2. Pola kecepatan dan waktu tempuh kendaraan (uji jalan)

B. Daya, Energi, dan kebutuhan gas Hidrogen

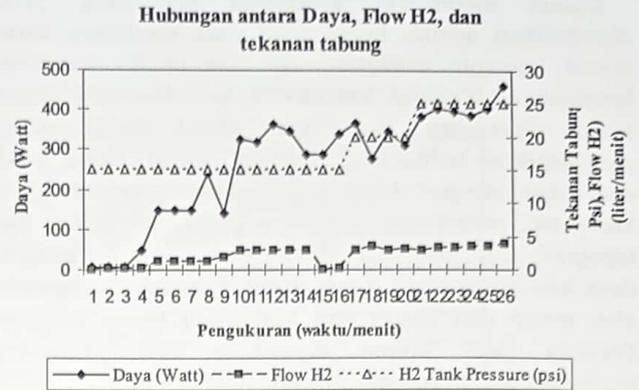
Dilaboratorium FC B2TE dilakukan pengujian statis pada dinamometer, selama 30 menit sepeda motor ini dijalankan dan status dari input hidrogen diukur dengan "alborg" H₂ digital flowmeter, selain itu diukur pula daya rata-rata, sehingga didapatkan energi yang digunakan selama 30 menit tersebut. Selanjutnya dapat dihitung kebutuhan energi untuk satu jam (Watt-hour), data yang diperoleh sebagai berikut;

- Daya rata2 adalah ; 265 Watt atau energi yang digunakan = 132,5 Wh (30menit) untuk 1 jam = 265 Wh
- Aliran gas H₂ rata2 adalah ; 2.1 l/menit. (catatan dari Hydrogen Flowmeter)
- Dari penunjukan "alborg" totalizer : H₂ Terpakai adalah 14 liter, tekanan gas minimum 15psi dan 25psi max.

Dari hasil diatas dapat diperkirakan untuk 1 jam test diperlukan 28 liter gas H₂ yang dikonversikan menjadi energi sebesar 265 Watt-hour, sehingga jika sepeda motor dijalankan dengan kecepatan konstan 40km/jam di perlukan daya max dari sistem fuel cell sebesar 500 Watt sehingga untuk jarak tempuh 40 km diperlukan 500 wh atau setara dengan 52.83 liter gas Hidrogen. Gambar 3 memperlihatkan grafik tegangan, arus, dan daya kendaraan yang di uji. Sedangkan gambar 4



Gambar 3. Grafik tegangan, arus, dan daya pada uji kendaraan



Gambar 4. Hubungan antara daya , flow dan tekanan Gas H₂.

memperlihatkan hubungan antara tekanan gas Hidrogen dan daya keluarannya. Semakin besar daya yang harus disuplai, semakin besar tekanan yang dibutuhkan atau setidaknya konstant namun dengan debit aliran gas yang lebih banyak permenitnya. Pada poin akhir dari limit daya yang dibutuhkan maka tekanan harus konstan maximum 35psi, namun aliran gas hidrogennya yang membesar menjadi 3-5 standard liter/menit. Gambar 5, memperlihatkan foto sepeda motor listrik Fuel Cell yang di uji.



Gambar 5. Sepeda Motor Listrik Hidrogen-FC B2TE-BPPT sedang diuji

TABEL 4. DAFTAR HARGA DASAR GAS HIDROGEN (SUMBER; BOC-INDONESIA)

No	Gas	Purity (%)	Impurities (ppm)			Gas Price Rp/Cyl 7m ³	Cyl Price USS/Cyl
			O ₂	H ₂ O	CH ₄		
1	H ₂ G	99.80	< 1000	< 100	0	121,000	300
2	H ₂ HP	99.99	< 10	< 10	< 5	492,000	300
3	H ₂ UHP	100.00	< 3*	< 2	< 1	920,000	300

C. Ekonomi

Untuk menghitung keekonomian dari penggunaan gas hidrogen untuk alat transportasi jenis sepeda motor ini, maka perlu didapatkan data harga gas Hidrogen yang di jual dipasaran. Pada penelitian ini penulis mendapatkan daftar harga dasar gas Hidrogen dari BOC Indonesia, seperti terlihat pada tabel 4. Daftar ini sebenarnya tidak dapat dikatakan akurat untuk menghitung ke ekonomian, karena untuk sampai ketangan konsumen banyak faktor lain yang harus dimasukan, seperti delivery

cost, laba distributor, dan lain-lain. Dari tabel 4, gas dengan spesifikasi UHP (ultra high purity) atau murni 100% adalah yang paling cocok digunakan, namun untuk menekan harga jenis high purity juga dapat digunakan. Kemurnian gas H₂ berpengaruh pada life time sistem FC. Semakin tinggi purity semakin bagus digunakan karena memperpanjang life time dari FC itu sendiri. Dari segi harga dapat disimpulkan;

- Jika menggunakan urutan harga kedua di dapatkan bahwa harga gas/liter adalah hanya Rp. 492.000 : 7000liter = Rp.70,28/liter jika urutan ketiga = Rp.131.46/liter
- Sehingga untuk jarak tempuh 40km atau 52.83 liter gas H₂ UHP Murni maka diperlukan Rp. 6945.03 untuk menjalankan kendaraan, harga ini setara dengan satu liter pertamax.
- Jika menggunakan high purity saja, maka keekonomiannya semakin bersaing yaitu hanya 52.83xRp.70,28,- atau hanya Rp. 3712,89 atau lebih murah dibandingkan bensin premium.

Perhitungan ekonomi diatas, hanyalah berdasarkan konsumsi Hidrogen saja tidak dimasukan harga investasi sepeda motor listrik fuel cell. Pada penelitian ini nilai investasi terbesar adalah pada sistem fuel cellnya, dimana harga total berikut tabung gas NiMh, adalah sekitar 16000 US \$ atau sekitar 160 juta rupiah, sedangkan untuk sepeda motor listrik itu sendiri berkisar antara 5 – 7 juta rupiah saja.

V. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa ;

- Gas Hidrogen dapat di hasilkan melalui berbagai teknik
- Gas Hidrogen dapat digunakan sebagai sumber energi untuk pembangkit listrik pada alat transportasi
- Pada alat transportasi listrik bobot kendaraan berpengaruh pada konsumsi energi listrik yang dibutuhkan , sehingga kendaraan listrik harus dibuat seringan mungkin
- Penggunaan H₂ pada sepedamotor listrik FC membutuhkan tekanan antara 15-35 psi dengan laju aliran dari 0 ~ 5 standar liter/menit
- Untuk kendaraan listrik berdaya 500Watt kecepatan rata-rata kendaraan 40km/jam energi yang digunakan 500 Wh dan jarak yang ditempuh 40 km diperlukan 52.83 liter gas H₂.
- Penggunaan Hidrogen untuk transportasi berdaya kecil (500 Watt) dari sisi harga energinya cukup bersaing dengan BBM konvensional, namun nilai investasi untuk pembuatan sepedamotor dengan sistem Fuel cell ini masih sangat mahal.

B. Rekomendasi

Dari penelitian dapat direkomendasikan kelanjutan dari kegiatan ini yaitu;

- Melakukan penelitian-penelitian untuk menurunkan biaya pembuatan sistem FC dan

sub komponennya supaya dapat lebih bersaing dengan kendaraan konvensional

- Gas Hidrogen dapat direkomendasikan sebagai bahan bakar alternatif untuk transportasi
- Perlu diupayakan pembuatan hidrogen dengan teknik pemrosesan termurah
- Pengembangan kendaraan listrik Fuel cell perlu melibatkan pihak industri kendaraan bermotor dalam negeri karena pembuatan secara masal dapat menekan harga produksi

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BRETT D. WILLIAMS, AND KENNETH S. KURANIA, "Estimating the early household market for light-duty hydrogen-fuel-cell vehicles and other Mobile Energy innovations in California: A constraints analysis", Institute of Transportation Studies, University of California at Davis, One Shields Avenue, Davis, CA 95616, USA, *Journal of Power Sources Volume 160, Issue 1*, 29 September 2006, Pages 446-453 Copyright © 2006 Elsevier B.V. All rights reserved, 2006.
- [2] BRETT D. WILLIAMS, "Commercializing Light-Duty Plug-In/Plug-Out Hydrogen-Fuel-Cell Vehicle; Mobile Electricity Technologies", PhD Dissertation, Office of Graduate Study, University of California Davis 2007.
- [3] BRUCE LIN, "Conceptual Design and Modelling of a Fuel Cell Scooter for Urban Asia", *Journal of Power Sources* #86, 2000.
- [4] CHRISTINA HARALDSSON, "On Direct Hydrogen Fuel Cell Vehicles Modelling and Demonstration", Doctoral Thesis, KTH Department of Chemical Engineering and Technology Energy Processes, Royal Institute of Technology, Sweden, 2005.
- [5] E.A. MENDRELA, R DRZEWSKI, "Performance of Stator Salient Pole Disc Brushless DC Motor for EV", *Power Electronics and Variable Speed Drives*, Conference Publication No.475, IEE2000, 18-19 Sept. 2000.
- [6] J DANIEL WISHART, "Modelling, Simulation, Testing and Optimization of Advanced Hybrid Vehicle Powertrains", PhD thesis, University of Victoria, 2008.
- [7] JOERG WEIGL AND INAYATI, "Different Designs for Integrating Fuel Cell Sstem in Motorbikes", UTM, 2007
- [8] J. WONG, "Theory of Grounds Vehicles", third edition, Wiley, New York, USA, 2001.
- [9] MATTHEW GUENTHER AND ZUOMIN DONG, "Modelling and Design Optimization of low Speed Fuel Cell Battery Hybrid Electrics Vehicles", *Proceedings of the International Green Energy Conference*, Waterloo, Ontario, Canada, 12-16 June 2005.
- [10] NATHAN J ENGLISH AND RAMESH K SHAH, "Technology Status and Design Overview of a Hybrid Fuel Cell Engine for a Motorcycle", second International Conference on Fuel Cell Science, Engineering and Technology, Copyright by ASME, 2004.
- [11] WOOJIN CHOI, "New Approach To Improve The Perormance of The PEM Based Fuel Cell Power Systems", PhD Dissertation, the Office of Graduate Studies of Texas A&M University, August 2004