

PEMODELAN STRATEGI MANAJEMEN ENERGI BERBASIS SOLUSI ANALITIS UNTUK KENDARAAN HIBRIDA LISTRIK-HIDROGEN

A.Y. Erwin Dodu

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tadulako

Email : erwin.dodu@gmail.com

Abstract - Energy Management Strategy (EMS) implemented in the fuel cell hybrid propulsion system aims to minimize the fuel consumption needed to provide the required power demand. Various EMS methods have been built to solve the optimization problem in minimizing the fuel consumption. This paper provides a modeling of new alternative approach of EMS method called analytical solution which is based on the minimization of the losses in the vehicle propulsion system. This method ensures that the minimization in the propulsion losses matches the minimization in the fuel consumption. Since the minimization is applied to the propulsion losses, this method has shifted the EMS objective to minimize the losses in the fuel cell hybrid propulsion system, still enabling to supply the demanded power for traction. The important advantage of this method is that it enables the real time implementation.

Keywords: Energy Management Strategy, analytical solution, Fuel Cell Hybrid Electric Vehicle.

I. PENDAHULUAN

Sejak pertama kali diproduksi di akhir abad ke-19, kendaraan yang menggunakan Mesin Pembakaran Dalam (*Internal Combustion Engine-ICE*) telah menghadapi persoalan serius yang berkaitan dengan emisi polutan yang dihasilkan oleh kendaraan tersebut. Hampir semua negara di dunia memberlakukan undang-undang yang ketat terhadap ambang batas emisi gas-gas polutan yang boleh dihasilkan oleh suatu kendaraan. Emisi gas-gas rumah kaca seperti hidrokarbon, karbon monoksida dan karbon dioksida harus dikurangi dari suatu kendaraan. Meningkatnya perhatian dunia terhadap pengurangan emisi gas-gas polutan dan semakin terbatasnya sumber

energi bahan bakar minyak bumi, pada akhirnya mendorong untuk diciptakannya suatu kendaraan yang ramah lingkungan serta efisien dalam pemanfaatan sumber energinya. Untuk mengatasi masalah tersebut, para pelaku industri otomotif kemudian menciptakan beberapa jenis kendaraan seperti kendaraan listrik (*Electric Vehicle-EV*), kendaraan listrik hibrida (*Hybrid Electric Vehicle-HEV*) dan kendaraan hibrida listrik-hidrogen (*Fuel Cell Hybrid Electric Vehicle-FCHEV*).

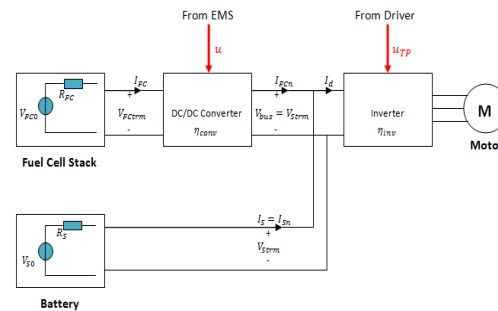
Penggunaan gas hidrogen (*Fuel Cell-FC*) sebagai sumber energi utama bagi suatu kendaraan telah menjadi pusat perhatian pada beberapa dekade terakhir ini. Berlawanan dengan baterai kimia yang hanya menyimpan energi listrik tanpa membangkitkannya, FC membangkitkan energi listrik secara terus-menerus sepanjang persediaan gas hidrogen masih terpenuhi. Dibandingkan dengan EV yang merupakan kendaraan penyimpan energi (menggunakan sumber tenaga baterai-*accu*), kendaraan dengan sumber energi hidrogen lebih mempunyai jarak tempuh yang panjang tanpa harus melakukan pengisian baterai. Dibandingkan dengan kendaraan ICE, kendaraan dengan sumber energi hidrogen lebih memiliki efisiensi energi yang tinggi serta menghasilkan emisi yang jauh lebih rendah karena tidak ada proses pembakaran dalam menghasilkan energi. Namun sistem FC yang berdiri sendiri sebagai sumber energi suatu kendaraan tidak akan cukup untuk memenuhi kebutuhan-kebutuhan dinamik beban kendaraan. Jika FC sendiri harus menyediakan semua kebutuhan tenaga maka ukuran FC akan semakin besar dan pada akhirnya juga akan meningkatkan harga jual kendaraan. Untuk mengatasi masalah ini sangat dibutuhkan sistem

penyimpanan energi (*Energy Storage System*-ESS) tambahan seperti baterai atau superkapasitor. ESS akan menyalurkan tambahan energi bagi kendaraan bila kendaraan membutuhkan tambahan energi dalam melakukan tugas-tugas yang berat. Kombinasi FC dan ESS yang sering disebut hibridisasi ini menghasilkan banyak keuntungan bagi teknologi kendaraan FC. Untuk aplikasi dewasa ini, baterai lebih banyak dipilih sebagai ESS daripada superkapasitor.

Semakin meningkatnya tuntutan akan minimisasi konsumsi bahan bakar bagi kendaraan yang digunakan untuk keperluan transportasi dewasa ini merupakan kondisi yang harus dipenuhi oleh para produsen kendaraan tersebut. Hal ini juga dirasakan oleh para produsen kendaraan hibrida seperti FCHEV. Beberapa teknik yang berkaitan dengan Strategi Manajemen Energi (*Energy Management Strategy*-EMS) untuk meminimisasi konsumsi bahan bakar FCHEV telah dikembangkan. Beberapa teknik EMS pada FCHEV yang telah dikembangkan antara lain teknik *fuzzy logic* (Gao, Jin & Lu, 2008), pemetaan efisiensi konsumsi bahan bakar (Feroldi, Serra & Riera, 2009), pengendalian klasik dengan fokus pada *State of Charge* (SOC) baterai (Kim & Peng, 2007) dan teknik berbasis aturan (Lin, Kang, Grizzle & Peng, 2001). Untuk mendapatkan hasil yang optimal dalam meminimisasi konsumsi bahan bakar maka metode-metode yang berbasis teknik kendali optimal seperti *Dynamic Programming* (Johannesson & Egardt, 2008), (Kim & Peng, 2007) dan *Equivalent Consumption Minimization Strategy* (ECMS) juga telah dikembangkan.

Suatu pendekatan alternatif yang berbasis pada solusi analitis dari EMS untuk FCHEV telah diperkenalkan di (Tazelaar, Veenhuizen, van den Bosch & Grimminck, 2011). Jika kebanyakan studi EMS berfokus pada tingkat tenaga maka pendekatan baru ini lebih berfokus pada tingkat tegangan dan arus. Oleh karena itu, tujuan dari solusi analitis EMS ini sedikit bergeser menjadi meminimisasi rugi-rugi

daya pada sistem propulsi FCHEV. Asumsi topologi sistem propulsi FCHEV dapat dilihat pada gambar 1 (Tazelaar, Veenhuizen, van den Bosch & Grimminck, 2011).

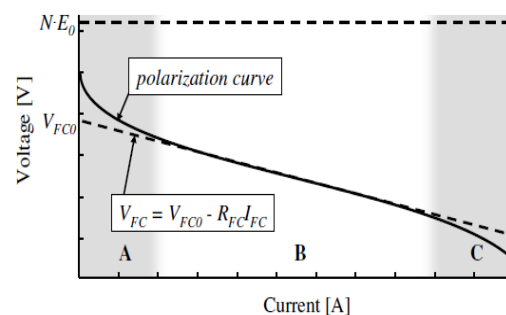


Gambar 1. Topologi Sistem Propulsi FCHEV.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Model Matematis *Fuel Cell*

Sebagai sebuah peralatan elektrokimia, FC mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Tegangan dan arus merupakan kuantitas-kuantitas listrik yang dihasilkan oleh FC. Nilai tegangan yang dihasilkan oleh suatu sel tunggal dari FC biasanya berkisar pada 0.3-0.11 V (Dodu, 2012). Untuk mendapatkan tegangan yang lebih tinggi maka sel-sel FC harus disusun secara seri. Hubungan antara tegangan dan arus FC yang dikenal dengan istilah kurva polarisasi diperlihatkan pada gambar 2 (Tazelaar, Veenhuizen, van den Bosch & Grimminck, 2011).



Gambar 2. Kurva Polarisasi FC

Pada kondisi ideal yaitu FC tanpa rugi-rugi internal, nilai tegangan FC ditentukan oleh nilai potensial *reversible* E_0 yang dikalikan dengan jumlah sel N . Terdapat tiga macam rugi-rugi yang akan mengurangi total tegangan ideal yaitu rugi-

rugi aktivasi, rugi-rugi *ohmic* dan rugi-rugi konsentrasi. Pada gambar 2 terlihat bahwa untuk arus yang kecil (daerah A), rugi-rugi aktivasi menjadi penyebab pengurangan tegangan ideal. Pada daerah B, yang dikenal dengan daerah operasi normal, tegangan ideal utamanya direduksi oleh rugi-rugi *ohmic*. Daerah C merupakan daerah dengan kerapatan arus yang tinggi dimana tegangan ideal direduksi utamanya oleh rugi-rugi konsentrasi. Kondisi yang terjadi pada daerah A dan C dipandang tidak praktis untuk dioperasikan secara normal. Oleh karena itu hanya daerah B yang diperlakukan sebagai daerah operasi normal.

Hubungan antara tegangan FC V_{FC} dengan arus FC I_{FC} pada daerah B dengan melibatkan sumber tegangan internal V_{FC0} dan pengaruh rugi-rugi *ohmic* R_{FC} , dapat dimodelkan sebagai berikut:

$$V_{FC} = V_{FC0} - R_{FC}I_{FC} \quad (1)$$

Dari persamaan (1), dapat ditentukan rugi-rugi daya total pada daerah B sama dengan $I_{FC}^2 R_{FC}$.

2.2. Model Matematis Baterai

Baterai merupakan suatu peralatan penyimpan energi yang dapat memberikan energi ke luar (*discharge*) dan pada beberapa tipe tertentu yaitu yang dapat *discharge* kembali (*rechargeable*), baterai juga dapat menerima energi dari luar (*charge*). Model matematis baterai direpresentasikan dengan sebuah sumber tegangan ideal V_{S0} yang dihubungkan seri dengan tahanan internal R_S . Penggambaran model ini dapat dilihat pada gambar 1. Tegangan baterai yang dihasilkan pada terminal, V_{Strm} , sebanding dengan:

$$V_{Strm} = V_{S0} - R_S I_S \quad (2)$$

Rugi-rugi daya pada tahanan internal sama dengan $I_S^2 R_S$.

2.3. Model Matematis Konverter DC/DC

Pada gambar 1 terlihat bahwa agar tegangan FC pada terminal V_{FCtrm} sama dengan tegangan tegangan bus maka

dibutuhkan sebuah konverter DC/DC. Tegangan bus sendiri sama dengan tegangan baterai pada terminal $V_{bus} = V_{Strm}$. Alih daya dari konverter DC/DC mempunyai rugi-rugi yang kecil dengan efisiensi η_{conv} . Model alih daya dalam konverter DC/DC dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$I_{FCn} V_{bus} = \eta_{conv} I_{FC} V_{FCtrm} \quad (3)$$

Konversi arus FC I_{FC} ke arus total FC I_{FCn} merupakan hasil kombinasi dari dua terminal konverter DC/DC dan FC.

$$I_{FCn} = r I_{FC} \quad (4)$$

r adalah rasio yang didefinisikan dengan tegangan terminal FC V_{FCtrm} , tegangan bus DC atau tegangan terminal baterai $V_{bus} = V_{Strm}$ dan efisiensi konverter η_{conv} . Dengan membandingkan (3) dan (4) menghasilkan ekspresi untuk r sebagai berikut:

$$r = \eta_{conv} \frac{V_{FCtrm}}{V_{bus}} \quad (5)$$

Dengan mensubstitusikan (1) dan (2) ke (5), maka didapatkan:

$$r = \eta_{conv} \frac{V_{FC0} - R_{FC} I_{FC}}{V_{S0} - R_S I_S} \quad (6)$$

Dari (6) diketahui bahwa terdapat dua fakta penting yang harus diperhitungkan:

1. Karena I_{FC} sebanding dengan I_S maka deviasi pada arus FC dan arus baterai akan bergerak pada arah yang sama. Kenyataan ini membolehkan I_{FC} digantikan oleh arus FC rata-rata I_{FC} dan I_S digantikan oleh arus baterai rata-rata I_S .
2. Arus baterai rata-rata harus sama dengan nol untuk menghindari kekurangan dan kelebihan muatan listrik baterai $I_S = 0$.

Berdasarkan dua fakta di atas maka dapat dilakukan pendekatan terhadap persamaan rasio r :

$$r \approx \eta_{conv} \frac{V_{FC0} - I_{FC} R_{FC}}{V_{S0}} \quad (7)$$

Persamaan (7) menunjukkan bahwa rasio r akan konstan selama *driving cycle*.

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menganalisa semua model matematis komponen penyusun sistem propulsi FCHEV yang terdapat pada gambar 1 sehingga dihasilkan suatu skema lup kendali EMS yang dapat meminimisasi rugi-rugi daya pada FCHEV yang ekuivalen dengan meminimisasi konsumsi bahan bakar pada FC. Rugi-rugi itu sendiri didominasi oleh rugi-rugi yang terjadi pada sistem FC dan baterai. Rugi-rugi daya yang dominan ini diekspresikan fungsi biaya (*cost function*) berikut:

$$J I_{FC} = \int_{t=0}^{t_{final}} I_{FC}^2 R_{FC} + I_S^2 R_S dt \quad (8)$$

Fungsi biaya ini dibatasi oleh dua persamaan kendala (*constrain*):

$$I_S + r I_{FC} = I_d \quad (9)$$

$$\int_{t=0}^{t_{final}} I_S dt = 0 \quad (10)$$

Kendala pertama menyatakan bahwa arus yang dibutuhkan I_d harus sama dengan penjumlahan I_S dan $r I_{FC}$. Sementara kendala kedua menyatakan bahwa muatan dalam baterai tidak boleh dalam keadaan kosong atau berlebihan. Hal ini juga berarti bahwa nilai SOC baterai pada awal dan akhir *driving cycle* harus sama. Mendapatkan nilai minimum dari fungsi biaya J pada (8) terhadap kendala-kendala (9) dan (10) merupakan masalah optimisasi yang bisa diselesaikan dengan beberapa cara. Pada studi di tulisan ini, masalah optimisasi diselesaikan secara analitis dengan mengubah fungsi biaya J bersama-sama dengan persamaan kendala pada SOC baterai (10) ke bentuk persamaan Lagrangian L :

$$L I_{FC} = \int_{t=0}^{t_{final}} I_{FC}^2 R_{FC} + I_S^2 R_S dt + \lambda \int_{t=0}^{t_{final}} I_S dt \quad (11)$$

dengan λ adalah pengali Lagrangian. Substitusi (9) ke (11) menghasilkan:

$$L I_{FC} = \int_{t=0}^{t_{final}} I_{FC}^2 R_{FC} + I_d - r I_{FC} \quad 2 R_S dt + \lambda \int_{t=0}^{t_{final}} I_d - r I_{FC} dt \quad (12)$$

Dengan menerapkan Prinsip-prinsip Optimalitas (*Optimality Principles*) (Bryson, 1999) pada masalah optimisasi (12) maka didapatkan persamaan:

$$L' I_{FC} = I_{FC}^2 R_{FC} + I_d - r I_{FC} \quad 2 R_S + \lambda I_d - r I_{FC} \quad (13)$$

Agar (13) mencapai nilai minimum maka harus dipenuhi syarat cukup dan perlu berikut:

$$\frac{\partial L' I_{FC}}{\partial I_{FC}} = 0 \quad (14)$$

Realisasi (14) menghasilkan:

$$2 I_{FC} R_{FC} - 2 r I_d - r I_{FC} \quad 2 R_S - r \lambda = 0 \quad (15)$$

atau

$$I_{FC} = \frac{r R_S}{R_{FC} + r^2 R_S} I_d + \frac{\frac{1}{2} r}{R_{FC} + r^2 R_S} \lambda \quad (16)$$

Kombinasi persamaan kendala (9) dan (10) menghasilkan:

$$\int_{t=0}^{t_{final}} I_d - r I_{FC} dt = 0 \quad (17)$$

Dengan mensubstitusikan (16) ke (17), didapatkan:

$$\Leftrightarrow \int_{t=0}^{t_{final}} \frac{R_{FC}}{R_{FC} + r^2 R_S} I_d - \frac{\frac{1}{2} r^2}{R_{FC} + r^2 R_S} \lambda dt = 0 \quad (18)$$

$$\Leftrightarrow \int_{t=0}^{t_{final}} \frac{1}{2} r^2 \lambda dt = \int_{t=0}^{t_{final}} R_{FC} I_d dt \quad (19)$$

Karena λ dan I_d pada (18) dan (19) hanya berhubungan dengan nilai rata-ratanya maka dimungkinkan untuk mengasumsikan λ sebagai sebuah konstanta: $\lambda = \lambda_0$ (Tazelaar, Veenhuizen,

van den Bosch & Grimminck, 2011). Asumsi ini mereduksi kebutuhan akan informasi awal dari nilai λ dalam kaitannya dengan *driving cycle* serta kebutuhan akan pemutakhiran nilai λ selama berlangsungnya *driving cycle*. Hal ini kemudian memungkinkan implementasi metode solusi analitis secara *real-time*.

Dengan mendiferensiasikan kedua sisi pada (19) dan kemudian menentukan solusi untuk $\lambda = \lambda_0$ maka didapatkan hasil:

$$\lambda_0 = 2 \frac{1}{r^2} R_{FC} I_d \quad (20)$$

Variabel kendali optimal I_{FC}^* sebagai solusi analitis dari masalah optimasi akhirnya bisa didapatkan dengan menggantikan λ di (16) dengan λ_0 di (20) sebagai berikut:

$$I_{FC}^* = \frac{rR_S}{R_{FC}+r^2R_S} I_d + \frac{\frac{1}{r}R_{FC}}{R_{FC}+r^2R_S} I_d \quad (21)$$

Dengan mengamati persamaan (21), tampak bahwa nilai optimal arus FC terdiri dari dua bagian yaitu bagian konstan dan bagian berubah-ubah. Bagian konstan berhubungan dengan rata-rata arus yang dibutuhkan dan bagian yang berubah-ubah berhubungan dengan deviasi dari arus yang dibutuhkan. Deviasi arus yang dibutuhkan dapat dirumuskan dengan:

$$\Delta I_d = I_d - I_d \quad (22)$$

atau

$$I_d = I_d + \Delta I_d \quad (23)$$

substitusi I_d di (23) ke (21) menghasilkan:

$$I_{FC}^* = \frac{rR_S}{R_{FC}+r^2R_S} I_d + \Delta I_d + \frac{\frac{1}{r}R_{FC}}{R_{FC}+r^2R_S} I_d \quad (24)$$

atau

$$I_{FC}^* = \frac{1}{r} I_d + \frac{rR_S}{R_{FC}+r^2R_S} \Delta I_d \quad (25)$$

Karena persamaan (25) sebenarnya mendefinisikan nilai arus FC maka

persamaan tersebut dapat juga diinterpretasikan sebagai:

$$I_{FC}^* = I_{FC0} + \Delta I_{FC} \quad (26)$$

Membandingkan (25) dengan (26) akan menghasilkan dua persamaan baru:

$$I_{FC0} = \frac{1}{r} I_d \quad (27)$$

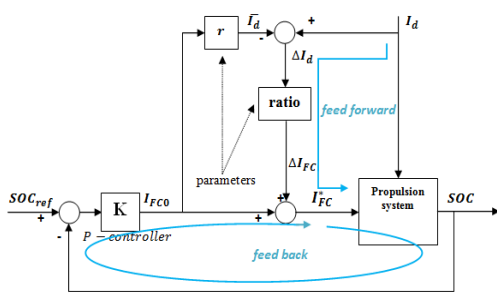
$$\Delta I_{FC} = \frac{rR_S}{R_{FC}+r^2R_S} \Delta I_d \quad (28)$$

IV. HASIL PENELITIAN

4.1. Solusi Analitis Dalam Bentuk Lup Kendali

Pengamatan secara cermat terhadap persamaan (27) dan (28) akan menghasilkan suatu ekspresi sistem manajemen energi dengan menganggap bahwa kebutuhan arus rata-rata I_d selama *driving cycle* dapat diaproksimasi dengan baik oleh filterisasi arus yang dibutuhkan pada waktu sebelumnya. Titik operasi dari arus FC I_{FC0} didapatkan dari lup kendali umpan-balik lambat pada SOC baterai. Bila SOC berkurang secara bertahap maka titik operasi I_{FC0} akan lambat dalam mengkompensasi kebutuhan arus rata-rata I_d dan demikian juga sebaliknya (Tazelaar, Veenhuizen, van den Bosch & Grimminck, 2011).

Nilai *ratio* $\frac{rR_S}{R_{FC}+r^2R_S}$ pada (25) dipandang sebagai pemisah deviasi arus yang dibutuhkan yang berasal dari FC dengan yang berasal dari baterai. Hal ini diaplikasikan dalam skema lup kendali sebagai lup umpan-maju (*feed forward*) pada deviasi arus yang dibutuhkan ΔI_d seperti yang terlihat pada gambar 3. Gambar 3 merupakan suatu realisasi skema lup kendali EMS berdasarkan pada persamaan (27) dan (28) serta hubungan antara SOC baterai dengan I_{FC0} .



Gambar 3. Optimisasi EMS Sebagai Lup Kendali.

4.2. Solusi Analitis Melibatkan Kebutuhan Daya Peralatan Pelengkap (*auxiliaries*) Fuel Cell

Kebutuhan daya untuk *auxiliaries* sistem propulsi FCHEV biasanya mengikuti operasi yang terjadi pada FC. Karena konsumsi oksigen di FC sebanding dengan arus FC maka total arus I_{aux} yang dibutuhkan untuk mengoperasikan *auxiliaries* dapat didekati dengan persamaan:

$$I_{aux} = \gamma I_{FC} + I_{aux0} \quad (29)$$

I_{aux0} menyatakan *offset* dari arus *auxiliaries* dan γ menyatakan bagian proporsional dari arus FC yang dibutuhkan oleh *auxiliaries*. Rasio r secara sederhana direduksi oleh γ untuk melibatkan bagian proporsional *auxiliaries*. Dengan melibatkan kebutuhan arus pada *auxiliaries* maka didapatkan solusi optimal sebagai berikut:

$$I_{FC}^* = \frac{r-\gamma R_S}{R_{FC} + r-\gamma^2 R_S} I_d + I_{aux0} + \frac{\frac{1}{r-\gamma} R_{FC}}{R_{FC} + r-\gamma^2 R_S} I_d + I_{aux0} \quad (30)$$

Substitusi I_d di (23) ke (30) menghasilkan:

$$I_{FC}^* = \frac{1}{r-\gamma} I_d + I_{aux0} + \frac{r-\gamma R_S}{R_{FC} + r-\gamma^2 R_S} \Delta I_d \quad (31)$$

Perbandingan (31) dan (26) menghasilkan dua persamaan baru:

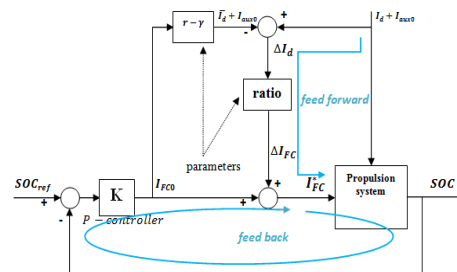
$$I_{FC0} = \frac{1}{r-\gamma} I_d + I_{aux0} \quad (32)$$

$$\Delta I_{FC} = ratio \cdot \Delta I_d \quad (33)$$

dimana

$$ratio = \frac{r-\gamma R_S}{R_{FC} + r-\gamma^2 R_S} \quad (34)$$

Realisasi skema lup kendali EMS berdasarkan pada persamaan (32) dan (33) serta hubungan antara SOC baterai dengan I_{FC0} dapat dilihat pada gambar 4 (Dodu, 2012).



Gambar 4. Optimisasi EMS Sebagai Lup Kendali Melibatkan Kebutuhan Daya *Auxiliaries*.

V. ANALISA HASIL

Dari skema yang dihasilkan pada gambar 4 diketahui bahwa nilai variabel kendali optimal I_{FC}^* akan sangat dipengaruhi oleh pemilihan nilai *ratio* dan *proportional controller* K . Nilai I_{FC}^* ini kemudian akan menentukan besarnya arus yang harus diberikan oleh FC ke sistem propulsi FCHEV yang juga berarti menentukan besarnya daya yang diberikan oleh FC. Karena daya yang dibutuhkan oleh sistem propulsi FCHEV agar bisa beroperasi secara normal merupakan penjumlahan daya yang diberikan oleh FC dengan daya yang diberikan oleh baterai, maka secara tidak langsung daya yang harus diberikan oleh baterai ditentukan oleh besarnya nilai I_{FC}^* . Hal ini yang menyebabkan pada skema gambar 4 terlihat bahwa nilai SOC baterai dijadikan sebagai sinyal umpan balik. Dalam sistem umpan balik ini, nilai *error* dari SOC_{ref} dengan

SOC (SOC-error) pada akhirnya akan mempengaruhi nilai I_{FC}^* yang dihasilkan.

VI. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil-hasil yang didapatkan pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu:

1. Solusi analitis dalam bentuk skema lup kendali sebagai hasil dari penelitian ini dirancang untuk menghasilkan aliran energi dari FC dan baterai ke sistem propulsi FCHEV sedemikian rupa sehingga konsumsi bahan bakar pada FC menjadi minimal.
2. Pemilihan nilai *ratio* dan *proportional controller* K akan mempengaruhi nilai variabel kendali optimal I_{FC}^* .
3. Pemilihan nilai SOC_{ref} dan nilai awal SOC akan menentukan daya FC P_{fc} . Semakin besar SOC-error mengakibatkan semakin besar arus FC I_{FC} yang berarti mengakibatkan juga semakin besar daya P_{fc} yang harus diberikan oleh FC.
4. Berkaitan dengan daya P_{fc} yang diberikan oleh FC, konsumsi bahan bakar Hidrogen pada FCHEV juga dipengaruhi oleh nilai SOC_{ref} dan nilai awal SOC. Semakin besar SOC-error mengakibatkan semakin besar konsumsi bahan bakar Hidrogen.

DAFTAR PUSTAKA

- Bryson A.E., *Dynamic optimization*, Addison Wesley Longman Ltd., 1999.
- Dodu A.Y.E., *Energy Management Strategy Based On Analytical Solution For Fuel Cell Hybrid Electric Vehicles*, Master Thesis, HAN University of Applied Science, 2012.

Feroldi D., Serra M., Rierra J., *Energy Management strategies based on efficiency map for Fuel Cell Hybrid vehicles*, J. of Power Sources, 2009.

Gao D., Jin Z., Lu Q., *Energy management strategy based on fuzzy logic for a fuel cell hybrid bus*, J. of Power Sources, 2008.

Johannesson L., Egardt B., *Approximate Dynamic Programming Applied to Parallel Hybrid Powertrains*, proc. Int. Fed. of Automatic Control, 2008.

Kim M., Peng H., *Power management and design optimization of fuel cell/battery hybrid vehicles*, J. of Power sources, 2007.

Lin C., Kang J., Grizzle J.W., Peng H., *Energy Management Strategy for a Parallel Hybrid Electric Truck*, proc. American Control Conf., 2001.

Tazelaar E., Veenhuizen P.A., van den Bosch P.P.J., Grimminck M., *Analytical solution and experimental validation of the energy management problem for fuel cell hybrid vehicles*, EEVC European Electric Vehicle Congress, Brussels, 2011.

Tazelaar E., Veenhuizen P.A., van den Bosch P.P.J., Grimminck M., *Analytical solution of the energy management for fuel cell hybrid propulsion system*, Journal of Vehicular Technology, Vol 1, No. 06, 2011.