

SISTEM FUEL CELL PENGAPLIKASIAN PADA MODA TRANSPORTASI (*PORTABLE DEVICE*)

Hendry Saputra¹⁾, Muhamad Maulana Yusuf²⁾, Belyamin²⁾

^{1,2}Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Depok, 16424

³Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Depok, 16424

E-mail: hendrysaputra5586@gmail.com

Abstract

The problems of air pollution cause of gas emission from general vehicle which petrol fuel (expecially in ground transportation) that can be worst for environment. Fuel Cell System have an alternative solution because of having hydrogen processing not only efficiently but also little bit dangerous emission. In this paper explain about fuel cell classification in many application and advance technology, thus analyze the best method by control strategy combination between Fuel Cell, Battery and Capacitor for increasing Efficiency and lifetime of its component in Fuel Cell Hybrid Vehicle (FCHV).

Keywords : Fuel Cell, Hydrogen, Green Energy, Transportation, Control System.

Abstrak

Permasalahan efek polusi udara yang disebabkan oleh gas buang pada moda transportasi yang berbahan bakar minyak (transportasi darat pada khususnya) yang dapat berdampak buruk terhadap lingkungan. Sistem Fuel Cell memberikan solusi alternatif karena memiliki pemrosesan bahan bakar Hydrogen yang efisien namun mengeluarkan sedikit senyawa yg berbahaya. Pada makalah ini membahas tentang klasifikasi fuel cell dalam berbagai aplikasi serta pengembangan teknologinya, dan analisa penerapan metode yang paling optimal melalui Strategi kombinasi kontrol Fuel Cell, Battery dan kapasitor untuk meningkatkan Efisiensi dan life time komponen Fuel Cell pada FCHV (*Fuel Cell Hybrid Vehicle*).

Kata Kunci: Fuel Cell, Hydrogen, Transportasi, Energi Ramah Lingkungan, Sistem Kontrol.

PENDAHULUAN

Teknologi *Proton Exchange Membran* (PEM) memberikan efisiensi konversi energi yang cukup tinggi, yang memiliki emisi rendah. Fitur pada Sistem Fuel Cell tersebut dirancang untuk digunakan sebagai *Auxiliary Power Unit* (APU) pada aplikasi transportasi seperti Truk, Karavan, dan Kapal Pesiar. Prinsip dasarnya, *Fuel Cell hydrogen* tipe PEM dapat beroperasi dengan baik dibandingkan dengan bahan bakar hidrokarbon lainnya (Bostjan Pregelj, Andrej Debenjak, Gregor Dolanc, and Janko Petrovcic, 2019).

Terdapat jenis-jenis sel bahan bakar zat elektrolit tersebut dikategorikan ke dalam berbagai jenis meliputi *Proton Exchange Membran Fuel Cell* (PEMFC), *Alkaline Fuel Cell* (AFC), *Phosphoric Acid Fuel Cell* (PAFC), *Solid Oxide Fuel Cell* (SOFC) dan *Molten Carbonate Fuel Cell* (MCFC). Diantara tersebut diatas, untuk saat ini jenis PEMFC mendominasi industri otomotif dikarenakan dapat beroperasi pada suhu rendah serta memiliki proses startup yang cepat (K. Jyotheeswara Reddy dan N. Sudhakar, 2018).

Fuel Cell Hybrid Vehicle (FCHV) memiliki peningkatan minat bagi produsen mobil. Beberapa diantaranya adalah Hyundai (TUCSON), General Motors (Chevrolet Equinox), Honda (FCX-V4 dan FCX Clarity), Toyota (Toyota Mirai) dan Volkswagen (Passat Lingyu). *Fuel Cell* menawarkan dua keunggulan utama dibandingkan dengan mesin bahan bakar lainnya yaitu efisiensi lebih tinggi dan hampir tidak ada emisi. Namun, beberapa kekurangan *Fuel Cell* adalah pada respons transiennya cukup lambat, sehingga harus diperhitungkan lagi untuk menghindari degradasi yang premature, yang dapat menyebabkan kerusakan *Fuel Cell* lebih cepat. Untuk mengatasi konsumsi daya yang mengalami perubahan yang cukup fluktuatif, maka pada FCHV menerapkan penggabungan sistem penyimpanan energy listrik. (Mauro Carignano, Vicente Roda, Ramon Costa-Castelló, Luis Valiño, Antonio Lozano, dan Félix Barreras, 2019).

Penelitian pada FCHV berkonsentrasi pada pemodelan sistem hybrid, strategi pencocokan parameter dan strategi manajemen energi. Manajemen energi melalui pendistribusian tenaga antara sel bahan bakar dan sumber lainnya, sehingga dapat membantu meningkatkan efisiensi dan mengurangi konsumsi hidrogen (Xiang Meng, Qi Li, Guorui Zhang, Tianhong Wang, Weirong Chen, Dan Taiqiang Cao, 2019).

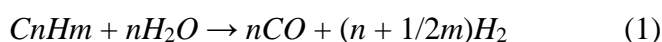
Optimalisasi Strategi Manajemen Energi (EMS) dapat difungsikan untuk memaksimalkan manfaat dari suatu media penyimpanan energi pada Kendaraan Listrik Hibrida (HEV/FCHEV). Beberapa manfaat ini dapat langsung terlihat sebagai kemampuan untuk menangkap kembali energi kinetik hilang sebagai panas pada saat pengereman. Seperti halnya optimasi, sering adanya tingkat "trade-off" antara berbagai target, mungkin juga termasuk konsumsi bahan bakar, emisi, kemampuan peralatan dan degradasi komponen. Itu adalah teknik yang digunakan untuk optimalisasi EMS pada FCHEV. (Tom Fletcher, Rob Thring, dan Martin Watkinson, 2016)

Ada dua cara untuk mencapai ekonomi rendah karbon Salah satunya adalah meningkatkan pangsa energi hijau untuk memenuhi peningkatan permintaan energi, dan memitigasi emisi gas rumah kaca (GRK) dengan mengurangi ketergantungan dari bahan bakar fosil, kemudian melakukan penghematan energi dan mengurangi emisi untuk meningkatkan efisiensi sistem energi yang sudah ada. (Junye Wang, Hualin Wang, Yi Fan, 2018).

Salah satunya teknologi *Fuel Cell* adalah membran elektrolit polimer (PEM) *Fuel Cell*, digunakan sebagai sumber daya alternatif di berbagai aplikasi dari perangkat portabel hingga pada mesin otomotif. Bahan bakar Sel-sel ini memiliki karakteristik potensial menjadi nol-emisi konversi energy, berlaku juga pada system pembangkit listrik. Algoritma pemilihan sensor *Fuel Cell* memiliki efek kegagalan pada degradasi sistem. (Lei Mao, Lisa Jackson, dan Ben Davies, 2018).

PEMFC dan SOFC menjadi yang paling menjanjikan dan kompetitif dalam konversi energi masa depan. SOFC berbahan keramik, tidak mudah korosif dan tidak memerlukan elektrokatalis logam mulia karena suhu operasi yang tinggi (800–1000°C). Suhu Operasi yang tinggi memungkinkan untuk dapat digunakan langsung pada berbagai macam bahan bakar termasuk H₂, NG, hidrokarbon dan bahan bakar cair berbasis alcohol. Secara umum bahan yang sedang dikembangkan dengan baik pada SOFC adalah Y₂O₃ – ZrO₂ (YSZ) elektrolit, anoda cermet Ni – YSZ dan (La, Sr) berbasis katoda perovskite MnO₃ (Shuangyin Wang dan San Ping Jiang, 2017).

Produksi bahan bakar hidrogen dari hidrokarbon bisa dicapai melalui reformasi uap internal atau eksternal, dari proses ini efisiensi produksi hidrogen dapat dicapai. Namun, reaksi pembentukan uap keseluruhan adalah endotermik dan umumnya dilakukan pada *Fuel Cell* dengan temperatur operasi tinggi pada kisaran antara 500 hingga 800 °C dengan adanya katalis yang sesuai. Reaksi pembentukan uap dapat digeneralisasi sebagai berikut untuk bahan bakar hidrokarbon. (Sivaprakash Sengodan, Rong Lan, John Humphreys, Dongwei Du, Wei Xu, Huanting Wang, Shanwen Tao, 2017)



Tujuan Makalah ini adalah untuk melakukan kombinasi sistem Fuel cell dan berbagai Modul (Hybrid) sebagai sistem penyimpanan dan penyaluran Energi listrik untuk mencapai efisiensi peralatan dan memperpanjang lifetime komponen.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui Analisa Literatur, langkah pertamanya adalah memulai pengumpulan artikel ilmiah yang relevan dengan sistem fuel cell. Kemudian langkah kedua adalah pengecekan artikel sebelumnya. Selanjutnya melakukan analisis. Adapun tahapan penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Pengumpulan Referensi Literatur
 - Google Scholar
 - IEEE
 - Elsevier
2. Prioritisasi Literatur
 - Topik : Fuel Cell
 - Tahun : 2016 – 2020
 - Jenis : Paten, Jurnal, Artikel Ilmiah
3. Analisa Literatur
 - Pembuatan Matrix Literatur
 - Pengelompokan Jenis Pengaplikasian Fuel Cell
 - Membandingkan Metode Penelitian Literatur
 - Analisa Kekurangan Literatur untuk Pengembangan Penelitian

Publikasi dalam daftar referensi literature ini disaring dan ditelusuri pada Google Sholar, IEEE, dan Elsevier. Kemudian dilakukan penyaringan dengan topic Fuel Cell tahun publish 2016-2020 dan Jenis berupa paten, jurnal dan artikel ilmiah, sehingga didapatkan 21 Literatur.

Kemudian dilakukan proses listing Literatur menggunakan matriks yang berisi diantaranya Judul Penelitian, Publisir, Tahun, Abstrak, Metode Penelitian, dan Kesimpulan dengan rincian topik yang didapat yaitu :

1. Kendaraan Listrik : 6 Literatur
2. Ekonomi : 1 Literatur
3. Device : 3 Literatur

4. Material : 11 Literatur

Kemudian berikutnya adalah melakukan analisa terkait perbandingan metode penelitian pada tiap referensi literature dan juga analisa terkait kekurangan dan kelebihannya untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

Melakukan pengelompokan artikel sesuai dengan tujuan penelitian. Sesuai table 1 dibawah ini.

Tabel 1
 Pembelajaran Literatur

| TIPE | TOPIK LITERATUR | KET |
|--|--|-----|
| Kendaraan Listrik (6 Literatur) | | |
| Jurnal | A Diesel-Powered Fuel Cell APU—Reliability Issues and Mitigation Approaches. | |
| Jurnal | High Voltage Gain Interleaved Boost Converter With Neural Network Based MPPT Controller for Fuel Cell Based Electric Vehicle Applications. | |
| Jurnal | Assessment of Energy Management in a Fuel Cell/Battery Hybrid Vehicle. | |
| Jurnal | A Dual-Mode Energy Management Strategy Considering Fuel Cell Degradation for Energy Consumption and Fuel Cell Efficiency Comprehensive Optimization of Hybrid Vehicle. | |
| Jurnal | An Energy Management Strategy to concurrently optimise fuel consumption & PEM fuel cell lifetime in a hybrid vehicle. | |
| Artikel Ilmiah | Fuel cell systems for maritime applications | |
| Ekonomi (1 Literatur) | | |
| Jurnal | Techno-Economic Challenges of Fuel Cell Commercialization. | |
| Device (3 Literatur) | | |
| Jurnal | Effectiveness of a Novel Sensor Selection Algorithm in PEM Fuel Cell On-Line Diagnosis. | |
| Jurnal | A 6.1-nA Fully Integrated CMOS Supply Modulated OOK Transmitter in 55-nm DDC CMOS for Glasses-Free, Self-Powered, and Fuel-Cell-Embedded Continuous Glucose Monitoring Contact Lens. | |
| Paten | Replenishing Fuel Cell Powered Portable Devices. | |
| Material (11 Literatur) | | |
| Jurnal | Multiphysics Transients Modeling of Solid Oxide Fuel Cells: Methodology of Circuit Equivalents and Use in EMTP-Type Power System Simulation. | |
| Jurnal | A Novel Approach to the Optimization of a Solid Oxide Fuel Cell Anode Using Evolutionary Algorithms. | |
| Jurnal | On direct internal methane steam reforming kinetics in operating solid oxide fuel cells with nickel-ceria anodes. | |
| Jurnal | Electricity generation from wastewater using a floating air cathode microbial fuel cell. | |
| Artikel Ilmiah | Hard-Magnet L10-CoPt Nanoparticles Advance Fuel Cell Catalysis. | |
| Artikel Ilmiah | Ultralow-loading platinum-cobalt fuel cell catalysts derived from imidazolate frameworks. | |
| Artikel Ilmiah | Prospects of fuel cell technologies. | |
| Artikel Ilmiah | Rational Design and Synthesis of Low-Temperature Fuel Cell Electrocatalysts. | |
| Jurnal | The use of metal hydrides in fuel cell applications. | |
| Artikel | Advances in reforming and partial oxidation of hydrocarbons for hydrogen | |

| TIPE | TOPIK LITERATUR | KET |
|--------|---|-----|
| Ilmial | production and fuel cell applications. | |
| Jurnal | Recent advancements in real-world microbial fuel cell applications. | |

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Metode Peningkatan Kualitas Fuel Cell pada Moda Transportasi (FCEV)

1. Analisa Fenomena Kerusakan Fuel Cell

Melakukan Analisa pada sisi Anode FC menggunakan metode Pemodelan Anode Relative Humidity (ARH) dengan hasil pada Cell yang paling jauh dari gas inlet mengalami performance yang paling buruk.

2. Analisa Maksimum Power FC dan Komposit Kontrol Strategi

- Analisa maksimum power FC menggunakan metode MPPT dengan hasil dapat mengurangi arus Ripple dan Voltage Stress dikarenakan switching.
- Kemudian yg kedua menggunakan metode Quasi-Z pada DC-DC converter dengan hasil meningkatkan kemampuan converter untuk menahan input dan *load disturbance*, dan meningkatkan respon dinamik.

3. Analisa Konsumsi Hidrogen, lifetime, Efisiensi Energi dan Lowcost

- Analisa degradasi Fuel Cell menggunakan metode perbandingan DMDEE, PMP, dan PF, dengan hasil DMDEE lebih efisien.
- Yang kedua menggunakan metode SDP dengan hasil Peningkatan lifetime fuel cell 14%, dengan hanya 3.5% peningkatan konsumsi bahan bakar.

4. Pengembangan Teknologi FCHV dan Analisa Kombinasi FCHV

- Metode kombinasi FC, Battery dan Diesel Generator dengan hasil penurunan konsumsi bahan bakar sebanyak 8% dan penurunan emisi sebesar 61 %
- Metode kombinasi FC dan Capacitor dengan hasil meningkatkan FC lifetime, menurunkan power systems dan meningkatkan efisiensi pengoperasian FC.
- Metode kombinasi FC, Battery, Capacitor, dan FLC dengan hasil efektifitas sharing energy, Capacitor berperans sebagai pelindung pada kondisi system yang kurang baik, Battery menerima arus dari Discharge Capacitor, serta Konsumsi energy (hydrogen) dapat dikurangi ketika energi pengereman dapat direcover oleh Capacitor.
- Metode kombinasi FC, Battery, Capacitor, dan AG (Algoritma Genetik) dengan hasil Konsumsi Energi FC berkurang dari 170 kW menjadi 101.21 kW (40%), SC dirangkai secara paralel menghasilkan Konsumsi energi yang turun dari 125~250 kW

menjadi 67~153 kW (50%), battery mengalami penurunan juga, semula total konsumsi bahan bakar hidrogen 3.3469 kg menjadi 2.8354 kg (15%)

5. Analisa FC sebagai Emergency Power dan Reducer Panas

Metode kombinasi FC, Battery dan Capacitor dengan FC sebagai *based load* dengan hasil Battery dan Capacitor tidak memerlukan banyak untuk merelease energy pada proses *matching* kebutuhan Energy Output.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan Analisa Penelitian diatas maka dapat disimpulkan metode yang paling baik untuk peningkatan Kualitas Fuel Cell pada pengaplikasian Untuk Moda Transportasi yaitu :

1. Pada Sisi Input menggunakan metode ARH (*Anode Relatif Humidity*)
2. Pada Sisi Control menggunakan Metode kombinasi FC, Battery, Capacitor, dan GA (*Genetic Algoritm*)
3. Pada Sisi DC Konverter menggunakan Metode Quasi-Z
4. Pada Sisi Efisiensi Energi menggunakan metode SDP (*Stochastic Dynamic Programming*)
5. Perlu Pengembangan sistem proteksi pada sisi elektrik hardware (DC-DC konverter & Power Distribution)

DAFTAR PUSTAKA

- Bostjan, P., Andrej D., Gregor D., & Janko P. (2017). A Diesel-Powered Fuel Cell APU-Reliability Issues and Mitigation Approaches. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 64, No. 8.
- Tian, L.,& Kai S. (2017). Multiphysics Transients Modeling of Solid Oxide Fuel Cells: Methodology of Circuit Equivalents and Use in EMTP-Type Power System Simulation. *IEEE Transactions On Energy Conversion*, Vol. 32, No. 4.
- K. Jyotheeswara R. & N. Sudhakar. (2018). High Voltage Gain Interleaved Boost Converter With Neural Network Based MPPT Controller for Fuel Cell Based Electric Vehicle Applications. *IEEE Control & Automation*, 2169-3536.
- Lei, M., Lisa J., & Ben D. (2018). Effectiveness of a Novel Sensor Selection Algorithm in PEM Fuel Cell On-Line Diagnosis. *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, Vol. 65, No. 9, 0278-0046.

- Mauro Carignano, Vicente Roda, Ramon Costa-Castelló, Luis Valiño, Antonio Lozano, dan Félix Barreras. (2019). Assessment of Energy Management in a Fuel Cell/Battery Hybrid Vehicle. *IEEE Energy* 16110-16122 Vol.7
- Xiang Meng, Qi Li, Guorui Zhang, Tianhong Wang, Weirong Chen, Dan Taiqiang Cao. (2019). A Dual-Mode Energy Management Strategy Considering Fuel Cell Degradation for Energy Consumption and Fuel Cell Efficiency Comprehensive Optimization of Hybrid Vehicle. *IEEE Energy* 134475-134487 Vo.;7.
- Tom Fletcher, Rob Thring, dan Martin Watkinson. (2016). An Energy Management Strategy to concurrently optimise fuel consumption & PEM fuel cell lifetime in a hybrid vehicle. *ELSEVIER Hydrogen Energy*, 41, 21503 – 21515.
- A. Thallam Thattai, L. Van Biert, dan P.V. Aravind. (2017). On direct internal methane steam reforming kinetics in operating solid oxide fuel cells with nickel-ceria anodes. *ELSEVIER Power Source*, 370, 71-86.
- Junrui Li, Shubham Sharma, Xiaoming Liu, Yung-Tin Pan, Jacob S. Spendelow, Miaofang Chi, Yukai Jia, Peng Zhang, David A. Cullen, Zheng Xi, Honghong Lin, Zhouyang Yin, Bo Shen, Michelle Muzzio, Chao Yu, Yu Seung Kim, Andrew A. Peterson, Karren L. More, Huiyuan Zhu, and Shouheng Sun. (2018). Hard-Magnet L10-CoPt Nanoparticles Advance Fuel Cell Catalysis. *Li et al., Joule* 3, 124–135.
- Lina Chong, Jianguo Wen, Joseph Kubal, Fatih G. Sen, Jianxin Zou, Jeffery Greeley, Maria Chan, Heather Barkholtz, Wenjiang Ding, Di-Jia Liu. (2018). Ultralow-loading platinum-cobalt fuel cell catalysts derived from imidazolate frameworks. *Chong et al., Science* 362, 1276–1281.
- Shuangyin Wang dan San Ping Jiang. (2017). Prospects of fuel cell technologies. *Natl Sci Rev*, Vol. 4, No. 2.
- Na Tian, Bang-An Lu, Xiao-Dong Yang, Rui Huang, Yan-Xia Jiang, Zhi-You Zhou, Shi-Gang Sun. (2018). Rational Design and Synthesis of Low-Temperature Fuel Cell Electrocatalysts. *SPRINGER Electrochemical Energy Reviews*, 1:54–83.
- Gerard F. McLean, West Vancouver, Olen Richard Vanderleeden, Coquitlam, Anna Stukas, Vancouver, Denis J. Connor, West Vancouver. (2017). Replenishing Fuel Cell Powered Portable Devices. US Patent, Mc lean et al, US 9569762B2.
- Mykhaylo V. Lototskyya, Ivan Tolj, Lydia Pickering, Cordellia Sita, Frano Barbir, Volodymyr Yartys. (2017). The use of metal hydrides in fuel cell applications. *ELSEVIER Progress in Natural Science: Materials International* 27, 3–20.
- Sivaprakash Sengodan, Rong Lan, John Humphreys, Dongwei Du, Wei Xu, Huanting Wang, Shanwen Tao. (2017). Advances in reforming and partial oxidation of hydrocarbons for

hydrogen production and fuel cell applications. *ELSEVIER Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82, 761–780.

Junye Wang, Hualin Wang, Yi Fan. (2018). Techno-Economic Challenges of Fuel Cell Commercialization. *ELSEVIER Engineering* 4, 352–360.

Iwona Gajda John Greenman, dan Ioannis A. Ieropoulos. (2018). Recent advancements in real-world microbial fuel cell applications. *ELSEVIER Current Opinion in Electrochemistry*, 11 : 78–83.

L. van Biert, M. Godjevac, K. Visser, P.V. Aravind. (2016). A review of fuel cell systems for maritime applications. *ELSEVIER Power Source*, 327, 345-364.