



**SIMULASI *HYBRID POWER SYSTEM* ANTARA *PHOTOVOLTAIC* DENGAN
FUEL CELL MENGGUNAKAN *FUZZY LOGIC CONTROLLER***

SKRIPSI

Oleh

**Andik Hikmawan
NIM 071910201091**

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2012**



**SIMULASI *HYBRID POWER SYSTEM* ANTARA *PHOTOVOLTAIC* DENGAN
FUEL CELL MENGGUNAKAN *FUZZY LOGIC CONTROLLER***

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

Andik Hikmawan
NIM 071910201091

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2012**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Umi Suliyati dan Abi Abdul Azis tercinta, yang telah mendoakan dan memberi kasih sayang serta pengorbanan selama ini;
2. Guru-guruku sejak SD sampai PT terhormat, yang telah memberikan ilmu dan membimbing dengan penuh kesabaran;
3. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTTO

Ingatlah, HANYA DENGAN MENGINGAT ALLAH HATI MENJADI TENTRAM.

(QS. Ar Ra'd [13]:28)

Terus berusaha dan berdoa demi sebuah kesuksesan, serta berbesar hati menerima kegagalan untuk bangkit kembali

Barang siapa yang selalu ber-istighfar maka Allah akan memberinya kelapangan dalam setiap kesempitannya, dan Allah akan membukakan jalan dari kesusahannya serta Allah akan memberinya rizqi dari jalan yang tidak disangka-sangkanya.

(HR. abu Daud & Ibnu Majah)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Andik Hikmawan

NIM : 071910201091

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul: *Simulasi Hybrid Power System Antara Photovoltaic Dengan Fuel Cell Menggunakan Fuzzy Logic Controller* adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 1 Januari 2012
Yang menyatakan,

(Andik Hikmawan)
NIM 071910201091

SKRIPSI

***SIMULASI HYBRID POWER SYSTEM ANTARA PHOTOVOLTAIC DENGAN
FUEL CELL MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC CONTROLLER***

Oleh

Andik Hikmawan
NIM 071910201091

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dedy Kurnia Setyawan, ST., MT.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Triwahju Hardiyanto, ST., MT.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul *Simulasi Hybrid Power System Antara Photovoltaic Dengan Fuel Cell Menggunakan Fuzzy Logic Controller* telah diuji dan disahkan oleh Fakultas

Teknik Universitas Jember pada:

hari : Selasa

tanggal: 31 Januari 2012

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Pembimbing Utama (Ketua Penguji),

Pembimbing Anggota (Sekretaris),

Dedy Kurnia Setiawan, ST., MT.
NIP. 19800610 200501 1 003

Dr. Triwahju Hardianto, ST., MT.
NIP. 19700826 199702 1 001

Penguji I,

Penguji II,

Dr. Azmi Saleh, ST., MT.
NIP. 19710614 199702 1 001

H. Samsul Bachri M, ST., M.MT.
NIP. 19640317 199802 1 001

Mengesahkan
Dekan,

Ir. Widyono Hadi, MT.
NIP. 19610414 198902 1 001

Simulasi Hybrid Power System Antara Photovoltaic Dengan Fuel Cell Menggunakan Fuzzy Logic Controller

Andik Hikmawan

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Penelitian ini mensimulasikan kombinasi antara *photovoltaic (PV)* dengan *fuel cell (FC)* dalam suatu sistem *hybrid*. Sistem ini terdiri atas panel *photovoltaic* dan *fuel cell* yang bekerja secara paralel; sistem *electrolyzer*; *switching system*; tabung penyimpanan *hydrogen* dan katup untuk mengatur kecepatan aliran *hydrogen (fuel flow rate)*. Di dalam sistem *hybrid* ini, jika daya listrik yang dihasilkan *photovoltaic* lebih besar dari daya listrik permintaan beban, maka *photovoltaic* akan menyuplai beban dan kelebihan daya listrik akan diubah menjadi *hydrogen* oleh *electrolyzer*. Sebaliknya, *fuel cell* akan bekerja menghasilkan energi listrik untuk mengatasi kekurangan daya pada sistem. Total produksi *hydrogen* oleh *electrolyzer* adalah 2070 liter. *Fuel cell* akan menyuplai beban pada saat sistem mengalami kekurangan daya dengan menggunakan 1900 liter *hydrogen* sebagai bahan bakarnya. Sisa *hydrogen* sebesar 170 liter dapat digunakan *fuel cell* untuk mengatasi kekurangan daya awal pada hari selanjutnya. Simulasi ini dirancang dan disimulasikan menggunakan *MATLAB®*, *Simulink® environment*, berdasarkan pada persamaan matematika dan pemodelan elektronik agar tercipta sistem sesuai yang diinginkan.

Kata kunci: *hybrid power system, photovoltaic, fuel cell, electrolyzer, fuzzy logic controller.*

Simulation of Hybrid Power System Photovoltaic – Fuel Cell Using Fuzzy Logic Controller

Andik Hikmawan

Departement of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember

ABSTRACT

This paper describes a combination of photovoltaic (PV) and fuel cell (FC) for hybrid energy system in stationary applications. The system includes solar panels and a fuel cell system working in parallel, an electrolyzer system, switching system, storage tanks and valve for manage fuel flow rate hydrogen. In this hybrid power system, if the solar power is high than load power demand, the PV array supply the load and the excess power is stored in hydrogen by the electrolyzer. Otherwise, the fuel cell is switched on to generate electricity to complement any shortfall in solar power. Hydrogen production total by electrolyzer are 2070 litres. Fuel cell can supply load in any lack power by using 1900 litres hydrogen as fuel. Hydrogen residue is 170 litres which can power first lack power for next day. The model is developed and applied in the MATLAB®, Simulink® environment, based on the mathematical and electrical models developed for the proposed system.

Keywords: *hybrid power system, photovoltaic, fuel cell, electrolyzer, fuzzy logic controller.*

RINGKASAN

Simulasi Hybrid Power System Antara Photovoltaic Dengan Fuel Cell Menggunakan Fuzzy Logic Controller; Andik Hikmawan, 071910201091; 2012: 51 halaman; Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember

Krisis energi adalah masalah yang sampai saat ini masih menyelimuti kehidupan manusia. Salah satu cara untuk mengatasi krisis energi adalah menggunakan pembangkit energi alternatif. Namun, beberapa pembangkit energi alternatif bergantung pada keadaan alam dan bahan bakar tertentu saja, contohnya *photovoltaic* dan *fuel cell*. *Photovoltaic* hanya bekerja jika ada cahaya yang diterima sedangkan *fuel cell* bekerja selama ada *hydrogen* yang dialirkan. *Photovoltaic* dan *fuel cell* dapat bekerja sama dalam satu sistem untuk menjaga kontinuitas suplai pada beban. Sistem yang menggunakan dua atau lebih pembangkit energi yang bekerja sama untuk mengatasi kekurangan maupun memanfaatkan kelebihan masing – masing agar tercipta suatu sistem yang handal disebut *hybrid power system*.

Hybrid power system antara *photovoltaic* dengan *fuel cell*, bekerja dengan memanfaatkan kelebihan daya yang dihasilkan oleh *photovoltaic* untuk menghasilkan *hydrogen*, yang nantinya *hydrogen* ini dapat digunakan oleh *fuel cell* untuk membangkitkan energi listrik jika terdapat kekurangan daya pada sistem. Untuk menjaga efisiensi penggunaan *hydrogen* tetap tinggi, *fuzzy logic controller* ditambahkan sebagai pengontrol aliran *hydrogen* menuju *fuel cell* agar kecepatan aliran *hydrogen* (*fuel flow rate*) sesuai dengan permintaan konsumsi *hydrogen* (*stack consumption*) pada *fuel cell*.

Logika *fuzzy* yang digunakan untuk mengontrol *fuel flow rate hydrogen* menuju *fuel cell*, menghasilkan efisiensi sebesar 79%. Sedangkan kekurangan daya pada sistem mampu diatasi oleh *fuel cell* dengan total konsumsi volume *hydrogen* sebesar 1900 liter dari total produksi volume *hydrogen* oleh *electrolyzer* sebesar 2070 liter. Sehingga sisa volume *hydrogen* yang sebesar 170 liter, dapat digunakan untuk mengatasi kekurangan daya awal pada hari ke dua. Dengan demikian, *hybrid*

power system antara *photovoltaic* dengan *fuel cell* layak untuk digunakan dalam memenuhi kebutuhan energi listrik bagi manusia.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *Simulasi Hybrid Power System antara Photovoltaic dengan Fuel Cell Menggunakan Fuzzy Logic Controller*. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Bapak Dedy Kurnia Setiawan, ST.,MT. Dan Bapak DR. Triwahju Hariyadi, ST.,MT. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah banyak memberikan bimbingan dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini;
2. Dr. Azmi Saleh, ST., MT dan H. Samsul Bachri M, ST., M.MT. sebagai dosen penguji yang banyak memberikan masukan, perhatian, dan waktunya kepada saya selama penulisan skripsi ini;
3. Abi Abdul Azis dan Umi Suliyati tercinta yang telah membimbing langkahku sampai saat ini dengan segala doa, pengorbanan, perhatian, dan kasih sayang yang tak terkira;
4. Seluruh angkatan 2007 yang telah berjuang bersama selama beberapa tahun ini di kampus kita tercinta untuk mencapai cita-cita bersama menjadi seorang Sarjana Teknik;

Penelitian ini masih banyak kekurangan oleh karena itu, kritik dan saran diharapkan terus mengalir untuk lebih menyempurnakan skripsi ini, serta adanya pengembangan lebih lanjut pada masa yang akan datang. Semoga Skripsi ini bermanfaat.

Jember, 1 Januari 2012

Penulis

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|---------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| PERSEMBAHAN | ii |
| MOTTO | iii |
| PERNYATAAN | iv |
| PENGESAHAN | vi |
| ABSTRAK | vii |
| ABSTRACT | viii |
| RINGKASAN | ix |
| PRAKATA | xi |
| DAFTAR ISI | xii |
| DAFTAR GAMBAR | xv |
| DAFTAR TABEL | xvii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xvi |
| BAB 1. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan | 2 |
| 1.4 Manfaat | 2 |
| 1.5 Batasan Penelitian | 2 |
| BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA | 4 |
| 2.1 Photovoltaic | 4 |
| 2.2 Fuel Cell | 5 |
| 2.3 Elektrolisis | 7 |
| 2.4 Tabung Penyimpanan Hydrogen | 7 |
| 2.5 Kendali Logika Fuzzy | 8 |

| | |
|---|----|
| 2.6 Software Pendukung | 12 |
| 2.6.1 MATLAB R2010b | 12 |
| 2.6.1.1 Fuzzy Inference Sistem (FIS) Editor | 12 |
| 2.6.1.2 Membership Function Editor | 13 |
| 2.6.1.3 Rule Editor | 14 |
| 2.6.1.4 Rule Viewer | 15 |
| 2.6.1.5 Surface Viewer..... | 16 |
| BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN | 17 |
| 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian | 17 |
| 3.2 Alogaritma Simulasi <i>Hybrid Power System Photovoltaic Dengan Fuel Cell</i> | 17 |
| 3.3 Rancang Bangun dan Konfigurasi Sistem | 18 |
| 3.4 Konfigurasi Simulasi | 19 |
| 3.4.1 Gambaran Realisasi Simulasi | 19 |
| 3.4.2 Data Intensitas Cahaya Matahari dan Data Pembebanan | 20 |
| 3.4.3 Pemodelan <i>Photovoltaic</i> | 23 |
| 3.4.4 Pemodelan Switching System | 24 |
| 3.4.5 Pemodelan Boost DC – DC Converter | 25 |
| 3.4.6 Pemodelan <i>Electrolyzer</i> | 26 |
| 3.4.7 Pemodelan Tabung Penyimpanan <i>Hydrogen</i> | 27 |
| 3.4.8 Pemodelan Katup..... | 28 |
| 3.4.9 Pemodelan <i>Fuel Cell</i> | 29 |
| 3.4.10 Pemodelan Buck DC – DC Converter | 30 |
| 3.5 Prosedur Logika Fuzzy | 31 |
| 3.6. Flowchart Kerja Sistem Hybrid Antara <i>Photovoltaic</i> dan <i>Fuel Cell</i> | 35 |

| | |
|---|----|
| BAB 4. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN | 37 |
| 4.1 Sistem <i>Switching</i> | 37 |
| 4.2 Daya Lebih dan Kekurangan Daya | 39 |
| 4.3 Produksi <i>Hydrogen</i> | 40 |
| 4.4 Konsumsi <i>Hydrogen</i> | 41 |
| 4.5 Efisiensi Penggunaan <i>Hydrogen</i> | 44 |
| 4.6 Tegangan dan Daya Pada Sistem | 46 |
| 4.7 Efisiensi Konversi Energi <i>Fuel Cell</i> | 50 |
| BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN | 52 |
| 5.1 Kesimpulan | 52 |
| 5.2 Saran | 53 |
| DAFTAR PUSTAKA | 54 |
| LAMPIRAN | 55 |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|---|---------|
| Gambar 2.1 Kurva Karakteristik <i>Voltage</i> Terhadap <i>Current</i> Pada <i>Photovoltaic</i> dengan Intensitas Cahaya yang Berbeda-beda | 4 |
| Gambar 2.2 Kurva Karakteristik <i>Voltage</i> terhadap <i>Power</i> Pada <i>Photovoltaic</i> dengan Intensitas Cahaya yang Berbeda-beda..... | 5 |
| Gambar 2.3 Kurva <i>Voltage - Current</i> dan <i>Power - Current</i> Pada <i>PEM Fuel Cell</i> .. | 6 |
| Gambar 2.4 Diagram Pemetaan Input-Output | 8 |
| Gambar 2.5 Struktur Dasar Logika <i>Fuzzy</i> | 11 |
| Gambar 2.6 Tampilan <i>FIS Editor</i> | 13 |
| Gambar 2.7 Tampilan <i>Membership Function Editor</i> | 14 |
| Gambar 2.8 Tampilan <i>Rule Editor</i> | 14 |
| Gambar 2.9 Tampilan <i>Rule Viewer</i> | 15 |
| Gambar 2.10 Tampilan <i>Surface Viewer</i> | 16 |
| Gambar 3.1 Desain <i>Hybrid Power System Photovoltaic</i> dengan <i>Fuel Cell</i> | 18 |
| Gambar 3.2 Denah Rumah Tipe 45..... | 17 |
| Gambar 3.3 Grafik Intensitas Cahaya dalam Satuan W/m^2 | 19 |
| Gambar 3.4 Grafik Pembebanan (<i>Plref</i>) dalam Satuan <i>Watt</i> | 22 |
| Gambar 3.5 Pemodelan <i>Photovoltaic</i> | 23 |
| Gambar 3.6 Pemodelan <i>Switching System</i> | 24 |
| Gambar 3.7 Pemodelan Boost DC – DC Conveter..... | 25 |
| Gambar 3.8 Pemodelan <i>Electroyzer</i> | 26 |
| Gambar 3.9 Pemodelan Tabung Penyimpanan <i>Hydrogen</i> | 27 |
| Gambar 3.10 Pemodelan Katup | 28 |
| Gambar 3.11 Pemodelan <i>Fuel Cell</i> | 29 |
| Gambar 3.12 Pemodelan <i>Buck DC – DC Conveter</i> | 30 |
| Gambar 3.13 Model <i>Fuzzy Logic Controller</i> | 31 |
| Gambar 3.14 Fungsi Keanggotaan Kekurangan Daya..... | 31 |
| Gambar 3.15 Fungsi Keanggotaan <i>Fuel Flow Rate</i> | 32 |
| Gambar 3.16 Pemodelan Defuzifikasi Pada Matlab | 34 |
| Gambar 3.17 Flowchart Kerja Sistem <i>Hybrid Photovoltaic</i> dengan <i>Fuel Cell</i> | 35 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4.1 <i>Switch On / Off</i> dari <i>Photovoltaic, Electrolyzer, dan Fuel Cell</i> | 38 |
| Gambar 4.2 Grafik Daya Lebih dan Kekurangan Daya..... | 39 |
| Gambar 4.3 Volume <i>Hydrogen</i> Yang Dihasilkan Karena Kelebihan Daya | 40 |
| Gambar 4.4 Grafik Manajemen <i>Hydrogen</i> Dengan <i>Fuzzy Logic Controller</i> | 41 |
| Gambar 4.5 Grafik Manajemen <i>Hydrogen</i> Tanpa <i>Fuzzy Logic Controller</i> | 42 |
| Gambar 4.6 <i>Fuel Flow Rate, Stack Consumption</i> dan Efisiensi Menggunakan <i>Fuzzy Logic Controller</i> | 44 |
| Gambar 4.7 <i>Fuel Flow Rate, Stack Consumption</i> dan Efisiensi Tanpa <i>Fuzzy Logic</i> <i>Controller</i> | 45 |
| Gambar 4.9 Tegangan <i>Fuel Cell</i> Sebelum dan Sesudah <i>Buck DC – DC Converter</i> | 47 |
| Gambar 4.10 Tegangan Beban..... | 47 |
| Gambar 4.12 <i>Power Management</i> | 49 |
| Gambar 4.13 Grafik Produksi <i>Hydrogen</i> Oleh Daya Lebih | 50 |
| Gambar 4.15 Grafik Pembangkitan Daya Oleh Penggunaan <i>Hydrogen</i> | 51 |

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|--|---------|
| Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian | 17 |
| Tabel 3.2 Data Intensitas Cahaya dan Pembebanan dari Pukul 05.00 – 12.00 | 20 |
| Tabel 3.3 Data Intensitas Cahaya dan Pembebanan dari Pukul 13.00 – 21.00 | 20 |
| Tabel 3.4 Data Intensitas Cahaya dan Pembebanan dari Pukul 22.00 – 05.00 | 20 |
| Tabel 3.5 Konversi Waktu Nyata Menjadi Waktu Simulasi (time) | 21 |
| Tabel 3.6 Aturan Fuzzy Logic Controller | 33 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | Halaman |
|--|---------|
| A. Spesifikasi Modul <i>Photovoltaic CAYMAXTM</i> | 55 |