

**OPTIMISASI PANEL SURYA BERPENJEJAK
(*SUN TRACKING SYSTEM*) DENGAN METODE FUZZY
TAKAGI-SUGENO**

TESIS

Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Magister



Oleh:

SUCI IMANI PUTRI

126060300111005

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
MINAT SISTEM KONTROL DAN ELEKTRONIKA**

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

MALANG

2014

**OPTIMISASI PANEL SURYA BERPENJEJAK (*SUN TRACKING SYSTEM*)
DENGAN METODE FUZZY TAKAGI-SUGENO**

TESIS



Oleh:

Nama Mahasiswa : Suci Imani Putri
NIM : 126060300111005
Program Magister : Teknik Elektro
Minat : Sistem Kontrol dan Elektronik

Menyetujui

Komisi Pembimbing

Ketua

Anggota

Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 19730520 200801 1 013

Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc
NIP. 19680122 199512 2 001

Mengetahui

Ketua Program Magister Teknik Elektro

Ir. Wijono, M.T., Ph.D
NIP. 19621111 19890 3 1003

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2014**

JUDUL TESIS :

OPTIMISASI PANEL SURYA BERPENJEJAK (*SUN TRACKING SYSTEM*) DENGAN METODE FUZZY TAKAGI-SUGENO.

Nama : Suci Imani Putri
NIM : 126060300111005
Program Studi : Program Magister Teknik Elektro
Minat : Sistem Kontrol dan Elektronika

Komisi Pembimbing :
Ketua : Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D
Anggota : Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc

Tim Dosen Penguji :
Dosen Penguji 1 : Ir. Wijono, M.T., Ph.D
Dosen Penguji 2 : M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D

Tanggal Ujian : 23 JULI 2013
SK Penguji : No. 506 /UN.10.6/SK/2014

PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam Naskah Tesis ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam Naskah Tesis ini dapat dibuktikan unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Tesis (MAGISTER) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No.20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70)

Malang,

Suci Imani Putri
NIM. 126060300111005

RIWAYAT HIDUP

Suci Imani Putri, Tenggarong, 14 September 1990, anak dari Ayah Nasrudin dan Ibu Eny Yanti, SD sampai SMA di Kota Tenggarong Kalimantan Timur, lulus SMA tahun 2007. Studi S1 Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada tahun 2007-2011. Pengalaman kerja sebagai Asisten Laboratorium Sistem Kontrol di jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya 2009-2011. Melanjutkan studi program Magister (S2) di Program Magister Teknik Elektro Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada tahun 2012-2014.

Malang, 23 Juli 2014

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

Ir. Wijono, M.T., Ph.D selaku Ketua program Magister Teknik Elektro, dan sekaligus Penguji.

Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D dan Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc. sebagai pembimbing.

M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D sebagai penguji.

Rekan-rekan penulis dan keluarga yang telah banyak memberikan bantuan serta ikut berperan dalam memperlancar penelitian dan penulisan tesis ini.

Terima kasih yang dalam penulis tujukan kepada ayahanda dan ibunda tercinta atas dorongan, kebijaksanaan serta doa yang tidak pernah putus.

Ucapan terima kasih secara khusus kepada pemberi semangat terbesar penulis Febryan Nugraha, S.T., Titis Hayuning S.T., Rizal Arif S.T., Ita Dwi Purnama Sari S.T., Rachmania S.T., dan Rizki Alfanadiah, S.T.

Malang, 23 Juli 2014

Penulis

RINGKASAN

Secara global penggunaan sel surya meningkat sebagai akibat peningkatan pemanfaatan sumber energi matahari untuk memenuhi kebutuhan energi listrik dunia. Untuk mengoptimalkan penyerapan energi matahari digunakan panel surya berpenjejak (*sun-tracking solar system*), yang merupakan suatu sistem untuk mengendalikan posisi panel surya agar selalu mengikuti arah dan posisi matahari sehingga sel surya dapat diserap secara maksimal. Pada penelitian ini didiskusikan dan dijelaskan hasil penelitian mengenai implementasi logika *fuzzy* pada panel surya berpenjejak yang menggunakan motor DC untuk mengatur posisi panel surya. Fuzzifikasi dilakukan menggunakan metode Takagi-Sugeno. Algoritma pengendalian diimplementasikan pada mikrokontroler ATmega 128 menggunakan program BASCOM-AVR. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan tegangan keluaran sensor sel surya (V_{out}) sebesar 0,40V dibandingkan dengan panel surya tanpa perhitungan logika *fuzzy*. Validasi hasil perhitungan logika *fuzzy* dengan metode Takagi-Sugeno dengan cara membandingkannya dengan metode Tsukamoto menunjukkan perbedaan hasil pengujian tegangan keluaran sensor sel surya yang tidak signifikan (0,001V), namun komputasi Takagi-Sugeno lebih efisien karena memanfaatkan penggabungan perhitungan logika *fuzzy* dengan dua keluaran sekaligus, dibandingkan dengan metode Tsukamoto yang melakukan perhitungan pada keluaran *fuzzy* satu per satu.

Kata Kunci—Logika *Fuzzy*, Metode Takagi-Sugeno, LDR (*Light Dependent Resistor*), Motor DC, Pulsa *Rotary Encoder*.

SUMMARY

Globally, the use of solar cells increased as a result of the increasing utilization of solar energy to meet the needs of the world's electrical energy. To optimize the absorption of solar energy, tracking solar panels (sun-tracking solar system) is being used, which is a system to control the position of the solar panels to always follow the direction and position of the sun so that the solar cell can be optimally absorbed. In this article, the results of research on the implementation of fuzzy logic in tracking solar panels which uses a DC motor to position the solar panels is being presented. The fuzzification conducted using Takagi-Sugeno method. The control algorithm is implemented in a microcontroller ATmega 128 using BASCOM-AVR program. The results showed an 0.40 Volt increase in the output voltage of the solar cell sensor (V_{out}) compared to solar panels without fuzzy logic calculations. Validation of the calculation results of fuzzy logic using Takagi-Sugeno method by comparing it with the Tsukamoto method showed differences in the results of the sensor output voltage of solar cells that are not significant (0.001 V), but the Takagi-Sugeno computation is more efficient because it utilizes the incorporation of fuzzy logic calculations with two outputs at once, compared to Tsukamoto methods that performs calculations on the fuzzy output one by one

Keywords: *Fuzzy logic; Light Dependent Resistor (LDR); Position of DC Motor; Solar System; Takagi-Sugeno method.*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segenap puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, ridho, nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan TESIS ini dengan judul “Optimisasi Panel Surya Berpenjejak (*Sun Tracking System*) dengan Metode Fuzzy Takagi-Sugeno”. Tidak lupa shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan untuk Rasulullah Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat, kerabat dan para pengikutnya sampai akhir jaman.

Dalam menyelesaikan penelitian ini, banyak bantuan, bimbingan, dan dorongan yang diterima oleh penulis. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

- Ir. Wijono, M.T., Ph.D selaku Ketua Program Magister Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Hadi suyono, S.T., M.T., Ph.D selaku Ketua Komisi Pembimbing.
- Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc. selaku Anggota Komisi Pembimbing.
- H. Nasrudin, S.T dan Hj. Eni Yanti sebagai kedua orang tua yang selalu mendukung kapanpun dan dimanapun.
- Teman-teman konsentrasi sistem kontrol dan elektronik Angkatan 2012, terima kasih banyak atas bantuan dan dukungannya.

Akhir kata, penulis mengharapkan semoga yang terdapat dalam skripsi ini bermanfaat untuk kita semua, rekan-rekan mahasiswa khususnya dan bagi seluruh pembaca pada umumnya.

Malang, 23 Juli 2014

Penulis

DAFTAR ISI

PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
RIWAYAT HIDUP	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
RINGKASAN	vi
<i>SUMMARY</i>	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	Error! Bookmark not defined.
1.1. Latar Belakang	Error! Bookmark not defined.
1.2. Rumusan Masalah.....	Error! Bookmark not defined.
1.3. Batasan Masalah.....	Error! Bookmark not defined.
1.4. Tujuan Penelitian	Error! Bookmark not defined.
1.5. Manfaat Penelitian	Error! Bookmark not defined.
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	Error! Bookmark not defined.
2.1. Studi Literatur	Error! Bookmark not defined.
2.2. Landasan Teori.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.1. Panel Surya (PV CELL)	Error! Bookmark not defined.
2.2.2. Motor DC	Error! Bookmark not defined.

2.2.3.	Sensor LDR (Light Dependent Resistor)	Error! Bookmark not defined.
2.2.4.	Mikrokontroler ATmega 128.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.5.	Logika Fuzzy	Error! Bookmark not defined.
2.2.6.	Sensor LM 35	Error! Bookmark not defined.
2.2.7.	LCD (Liquid Crystal Display).....	Error! Bookmark not defined.
2.2.8.	Sensor Rotary Encoder	Error! Bookmark not defined.
BAB III	KERANGKA KONSEP PENELITIAN...	Error! Bookmark not defined.
3.1.	Kerangka Konsep Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.2.	Hipotesis.....	Error! Bookmark not defined.
3.3.	Konsep dan Variabel Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.3.1.	Konsep Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
3.3.2.	Variabel Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
BAB IV	METODOLOGI PENELITIAN	Error! Bookmark not defined.
4.1.	Penentuan Bahan dan Alat	Error! Bookmark not defined.
4.2.	Spesifikasi Alat	Error! Bookmark not defined.
4.3.	Perancangan Diagram Blok Alat	Error! Bookmark not defined.
4.4.	Langkah Penelitian	Error! Bookmark not defined.
4.5.	Perancangan Hardware dan Software Sistem	Error! Bookmark not defined.
4.5.1.	Merancang dan Membuat Mekanik Sistem	Error! Bookmark not defined.
4.5.2.	Merancang dan Membuat Logika Sistem Fuzzy ...	Error! Bookmark not defined.

4.5.3. Analisis Keluaran dan Pengambilan Keputusan Logika Fuzzy **Error!**
Bookmark not defined.

4.6. Pengujian Alat **Error! Bookmark not defined.**

4.6.1. Pengujian Hardware Sistem **Error! Bookmark not defined.**

4.6.2. Pengujian Software Sistem..... **Error! Bookmark not defined.**

4.6.3. Pengujian Keseluruhan Sistem..... **Error! Bookmark not defined.**

4.7. Pengambilan Kesimpulan dan Saran **Error! Bookmark not defined.**

BAB V PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT..... Error! Bookmark not defined.

5.1. Perancangan Alat **Error! Bookmark not defined.**

5.2. Perancangan dan Pembuatan Hardware System . **Error! Bookmark not defined.**

5.2.1. Perancangan Mekanik Alat..... **Error! Bookmark not defined.**

5.2.2. PERANCANGAN I/O MIKROKONTROLER ATMEGA 128 **Error!**
Bookmark not defined.

5.2.3. Perancangan Sensor Suhu LM 35... **Error! Bookmark not defined.**

5.2.4. Perancangan Sensor Rotary Encoder **Error! Bookmark not defined.**

5.2.5. Perancangan Sensor LDR **Error! Bookmark not defined.**

5.2.6. Driver Motor DC..... **Error! Bookmark not defined.**

5.2.7. Perancangan Antarmuka Modul LCD **Error! Bookmark not defined.**

5.2.8. Perancangan Sensor Solar Cells..... **Error! Bookmark not defined.**

5.3. Perancangan Perangkat Lunak (Logika Fuzzy) **Error! Bookmark not defined.**

5.3.1.	Perancangan Logika Fuzzy	Error! Bookmark not defined.
5.3.2.	Penentuan Membership Function	69
5.3.3.	Perancangan Rule Base	71
5.3.4.	Diagram Alir Perhitungan Logika Fuzzy	82
5.4.	Perancangan Keseluruhan Sistem.....	Error! Bookmark not defined.
BAB VI	PENGUJIAN ALAT.....	Error! Bookmark not defined.
6.1.	Pengujian Sensor Suhu LM 35	85
6.2.	Pengujian Sensor Rotary Encoder.....	88
6.3.	Pengujian Sensor LDR	91
6.4.	Pengujian Driver Motor DC	94
6.5.	Pengujian Tampilan LCD.....	97
6.6.	Pengujian Sensor Solar Cells	98
6.7.	Pengujian Perhitungan Logika Fuzzy.....	100
6.8.	Pengujian Sistem Keseluruhan	119
BAB VI	PENUTUP.....	131
6.1.	Kesimpulan.....	131
6.2.	Saran.....	133
DAFTAR PUSTAKA	134
LAMPIRAN	137

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 *Milestone* Penelitian yang Berhubungan dengan PV **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 2.2 Konfigurasi Pin LCD.....
.....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 5.1 Data nilai Rata-rata LDR dari jam 07.00 – 16.00.....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 5.2 Data Pengujian Manual *Rule Base***Error! Bookmark not defined.**

Tabel 6.1 Pengujian Rangkaian Sensor LM 35.....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 6.2 Hasil Pengujian *Driver* Motor DC.....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 6.3 Perbandingan Data LDR saat Posisi Diam dan Berpenjejak Pada Tanggal 29 Maret 2014.....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 6.4 Perbandingan Data LDR saat Posisi Diam dan Berpenjejak Pada Tanggal 30 Maret 2014.....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 6.5 Hasil Optimasi Tegangan keluaran rata-rata sensor Solar cell selama 5 hari (02 – 07 April 2014).....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 6.6 Hasil Optimasi Tegangan keluaran sensor *Solar cell* pada Tanggal 11 April 2014.....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 6.7 Data LDR Saat Diam (13 April 2014).....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 6.8 Data perhitungan Logika Fuzzy Takagi-Sugeno dan Tsukamoto... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 6.9 Perbedaan Tegangan Keluaran sensor Solar cell dengan Metode Takagi-Sugeno dan Tsukamoto.....**Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Panel *solar cells*.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2.2 Ilustrasi Cara Kerja Sederhana PV....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2.3 Motor DC.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2.4 Sensor LDR**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2.5 Arsitektur MCU Atmega 128.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2.6 Mikrokontroler ATmega 128**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2.7 Peta Program Memori**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2.8 Konfigurasi Dasar Pengendali Logika *Fuzzy* ... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2.9 Proses Fuzzifikasi	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.10 Bentuk Fisik LM 35.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.11 Bentuk Fisik LCD	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.12 Rangkaian Interface LCD	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.13 Konfigurasi <i>Optocoupler</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.14 Piringan berpola untuk optocoupler .	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 1 Blok Kerangka Konsep Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.1 Diagram Blok <i>Sun Tracking system</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.2 Diagram Alir simulasi.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 3 Rancangan Mekanik Sistem.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 4 Diagram Alir Program Kontrol Logika <i>Fuzzy</i> ...	Error! Bookmark not defined.
Gambar 5.1 Perancangan Mekanik Sistem.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 5.2 I/O pada Mikrokontroler ATmega 128	Error! Bookmark not defined.
Gambar 5.3 Perancangan Sensor LM 35.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 5.4 Perancangan Sensor <i>Rotary Encoder</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 5. 5 Perancangan sensor LDR	Error! Bookmark not defined.
Gambar 5. 6 Perancangan <i>Driver</i> Motor DC	Error! Bookmark not defined.
Gambar 5. 7 <i>H-Bridge</i> MOSFET Motor DC	Error! Bookmark not defined.
Gambar 5. 8 Perancangan LCD.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 5. 9 Perancangan <i>Solar cell</i> ke pin ADC Mikrokontroler	68
Gambar 5.10 <i>Membership Function</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 5.11 Ilustrasi Pergerakan Alat	Error! Bookmark not defined.

Gambar 5.12 Diagram Alir Perancangan Logika *Fuzzy*..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 5.13 Diagram Alir Perancangan Sistem Keseluruhan...**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 6.1 Diagram Blok Pengujian Rangkaian Sensor Suhu.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 6.2 Grafik Perhitungan V_{out} pada Sensor Suhu **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 6.3 Grafik Pengukuran V_{out} pada Sensor Suhu **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 6.4 Pengujian Sensor *Rotary Encoder* ...**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 6.5 Level tegangan saat *LED* tidak terhalang **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 6.6 Level Tegangan saat *LED* terhalang .**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 6.7 Pengujian Sensor *LDR*.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 6.8 Sensor *LDR* 1 Saat Tertutup Cahaya **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 6.9 Sensor *LDR* 2 Saat Tertutup Cahaya **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 6.10 Sensor *LDR* 3 Saat Tertutup Cahaya **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 6.11 Sensor *LDR* 4 Saat Tertutup Cahaya **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 6.12 Pengujian Driver Motor.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 6.13 Pengujian Motor DC Logika *High (CW)* **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 6.14 Pengujian Motor DC Logika Stop ...**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 6.15 Diagram Blok Pengujian *LCD*.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 6.16 Tampilan Hasil Pengujian Tampilan LCD **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 6.17 Pengujian *Solar Cell*.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 6.18 Hasil Pengujian Solar Cell**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 6.19 *Membership Function*.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 6.20 Himpunan *Fuzzy Output* Tsukamoto LDR 1 dan LDR 3 **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 6.21 Himpunan *Fuzzy Output* Tsukamoto LDR 2 dan LDR 4 **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 6.22 Grafik perbandingan Tegangan *solar cell*..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 6.23 Hasil Rancangan**Error! Bookmark not defined.**

